



**TUGAS AKHIR – TI 141501**

**PENGEMBANGAN MODEL KEANDALAN PROYEK DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN HUBUNGAN WAKTU, BIAYA, DAN  
SUMBER DAYA DIBAWAH KETIDAKPASTIAN**

LOLA CAHYANA

NRP 2511 100 065

Dosen Pembimbing

Yudha Andrian Saputra, ST.,MBA

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



**TUGAS AKHIR – TI 141501**

**PENGEMBANGAN MODEL KEANDALAN PROYEK DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN HUBUNGAN WAKTU, BIAYA, DAN  
SUMBER DAYA DIBAWAH KETIDAKPASTIAN**

LOLA CAHYANA

NRP 2511 100 065

Dosen Pembimbing

Yudha Andrian Saputra, ST.,MBA

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



**FINAL PROJECT – TI 141501**

**PROJECT RELIABILITY MODEL DEVELOPMENT WITH  
CONSIDER TIME, COST, AND RESOURCES RELATIONSHIP  
UNDER UNCERTAINTY**

LOLA CAHYANA

NRP 2511 100 065

Supervisor

Yudha Andrian Saputra, ST.,MBA

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGEMBANGAN MODEL KEANDALAN PROYEK DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN HUBUNGAN WAKTU, BIAYA, DAN SUMBER  
DAYA DIBAWAH KETIDAKPASTIAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**LOLA CAHYANA**

**NRP. 2511 100 065**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



**Yudha Andrian Saputra, ST., MBA**

**NIP. 198203122005011002**

**SURABAYA**



**PENGEMBANGAN MODEL KEANDALAN PROYEK DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN HUBUNGAN WAKTU, BIAYA, DAN SUMBER  
DAYA DIBAWAH KETIDAKPASTIAN**

Nama : LOLA CAHYANA  
NRP : 2511 100 065  
Pembimbing : YUDHA ANDRIAN SAPUTRA, ST.,MBA

**ABSTRAK**

Proyek adalah serangkaian kegiatan dan tugas yang memiliki tujuan tertentu yang memiliki spesifikasi tertentu, memiliki dana yang terbatas, menggunakan sumber daya baik manusia maupun *nonhuman resource*. Taylor dan Davis (1978) mengukur keberhasilan proyek berdasarkan estimasi waktu penyelesaian dan biaya proyek dengan mempertimbangkan ketidakpastian pada waktu dan relasi antara waktu dan biaya. Akan tetapi waktu dan biaya proyek tidaklah berdiri sendiri. Terdapat komponen-komponen penyusunnya, salah satunya adalah sumber daya yang digunakan dalam proyek. Sumber daya yang digunakan pada proyek adalah *trigger* (sumber) ketidakpastian. Namun penelitian Taylor dan Davis belum mempertimbangkan adanya komponen sumber daya proyek. Pengukuran keberhasilan proyek atas estimasi sumber daya dan target waktu dan biaya sangat perlu dilakukan. Pengukuran keberhasilan proyek ini dapat menjadi salah satu pertimbangan bagi manajer proyek menilai proyek tersebut layak untuk dilaksanakan atau perlu adanya perbaikan atau penyesuaian. Penelitian-penelitian dalam bidang manajemen proyek telah berkembang namun belum terdapat penelitian yang meninjau lebih lanjut relasi sumber daya dengan waktu dan biaya proyek untuk mengukur keberhasilan memenuhi target proyek. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengembangan model hubungan waktu, biaya dan sumber daya proyek yang bertujuan untuk menghitung probabilitas keberhasilan mencapai target dibawah ketidakpastian (keandalan proyek). Untuk mengakomodasi faktor ketidakpastian yang ada, teknik solusi yang digunakan adalah simulasi monte carlo.

**Kata Kunci:** *Keandalan Proyek, Ketidakpastian, Manajemen Proyek, Simulasi Monte Carlo, Sumber Daya Proyek*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **PROJECT RELIABILITY MODEL DEVELOPMENT WITH CONSIDER TIME, COST, AND RESOURCES RELATIONSHIP UNDER UNCERTAINTY**

Student Name : LOLA CAHYANA  
Student ID : 2511 100 065  
Supervisor : YUDHA ANDRIAN SAPUTRA, ST.,MBA

## **ABSTRACT**

The project is a series of activities and tasks that have certain goals that have certain specifications, have limited funding, using resources both human resource and nonhuman resources. Taylor and Davis (1978) to measure the success of the project based on the estimated time of completion and cost of the project taking into account the uncertainty of the time and the relationship between time and cost. However, the time and cost of the project does not stand alone. There are its components, one of which is a resource that is used in the project. Resources used in the project is the trigger uncertainty. However, Taylor and Davis research has not considered any component of project resources. Measuring the success of a project on the estimation of resources and time and cost targets is very necessary. Measuring the success of this project can be one of the considerations for project managers assess the project is feasible or need for repairs or adjustments. Studies in the field of project management has evolved but there has been no further studies reviewing resource relation with time and cost of the project to measure the success of the project to meet the target. Therefore, in this research, model development time relationship, cost and resource projects aimed to calculate the probability of success of achieving the target under uncertainty (reliability project). To accommodate the uncertainty that exists, engineering solutions used is monte carlo simulation.

**Key Words:** *Monte Carlo Simulation, Project Management, Project Reliability, Resource Project, Uncertainty*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat kasih karunia dan anugerah-Nya, penulis diberkati dan dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengembangan Model Keandalan Dengan Mempertimbangkan Hubungan Waktu, Biaya, dan Sumber Daya Dibawah Ketidakpastian”.

Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan studi Strata-1 dan memperoleh gelar sarjana Teknk Industri, pada Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulisan Tugas Akhir ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan dari pihak lain. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini:

1. Tuhan Yesus Kristus, terima kasih Tuhan atas segala berkat yang selama ini tercurahkan bagi penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
2. Among Hasugian dan Inong Nainggolan selaku kedua orang tua penulis yang selalu menyebutkan nama penulis dalam doa mereka dan memberikan kasih sayang yang tak berkesudahan bagi penulis.
3. Maryani Hasugian dan Edwin Hasugina selaku saudara kandung penulis yang selalu mendukung dan memberikan doanya bagi penulis.
4. Bapak Yudha Andrian Saputra, ST.,MBA selaku dosen pembimbing penulis, atas bimbingan, waktu, tenaga, kepercayaan, serta pembelajarannya. Terima kasih atas semua saran, kritik, dan masukan selama pengerjaan Tugas Akhir.
5. Bapak Prof. Ir. Budi Santosa, M.S., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri dan Kepala Laboratorium Komputasi dan Optimasi Industri, serta dosen penguji atas arahan dan masukan kepada penulis.
6. Segenap dosen Teknik Industri ITS yang telah membimbing penulis selama menempuh studi.

7. Teman-teman Administrator KOI Angkatan 2011, yaitu Ovita, Agustin, Nurman, Resa, Nindya, Mike, Chrisman, dan Friska atas dukungan dan semangat saat penulis mengerjakan Tugas Akhir. Keluarga Administrator KOI lainnya, yaitu: Mas Gusti, Mas Hasyim, Mas Jimbo, Mas Apul, Mas Andrew, Mbak Bina, Mbak Layli, Mbak Putri, Mbak Vega, Mbak Hajar, Mbak Dewi, Ade, Tia, Mira, Agung, Saka, Mila, Lila, dan Om Surya yang telah memberikan semangat dan masukan-masukan untuk penulis.
8. Monica Siahaan, Naomi Banjarnahor, dan Lia Pasaribu selalu teman karib penulis sejak sekolah minggu hingga sekarang yang selalu memberi motivasi untuk menjadi lebih baik. Terima kasih atas waktu bahagia, perhatian, dan canda tawanya menemani penulis selama ini. Semoga pertemanan kita terus berlanjut hingga tua nanti.
9. Choirunisa Dhara selaku teman karib penulis teman seperjuangan untuk meraih kelulusan. Terima kasih untuk tawa bahagia, kelongoran bersama, dan *selfie time* yang tidak berkesudahan. *See you on top, poks!*
10. Resa Irwanto selaku teman seperjuangan dan se-bimbingan penulis. Terima kasih untuk waktu-waktu bersama berjuang setiap kali bimbingan. Sukses terus kita ya sa~
11. Syafitri Hayati selaku teman KP. Terima kasih untuk pengalaman kerja praktek yang tak akan terlupakan.
12. Arta Banjarnahor dan Eva Manullang selaku kakak penulis yang selalu merindukan penulis. Terima kasih untuk ke-parbada-an kalian yang membuat penulis semakin “hidup”.
13. Esta Saragih, Ezra Manullang, dan Indi Girsang selaku teman penulis yang selalu menghibur, memberikan semangat, dan mendengarkan curhatan penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
14. Tim PSMITS road to Seghizzi, terima kasih kepercayaannya untuk penulis masuk tim inti disaat penulis sedang mengerjakan TA dan terima kasih toleransinya. Khususnya Mas Budi Susanto Yohanes, Cece Evelyn, Ayu Ashfihan, Wasis Setiawan, Fauzy Bakhtiar, dan Nerisha untuk pembelajaran musiknya. *We can do it, guys..* PSMITS JUARA 1!

15. Segenap keluarga besar PSMITS, terima kasih untuk pengalaman *nge-job* menyenangkan. Khususnya LA 2012 atas kebersamaan setiap Latihan Alam yang akan selalu terkenang.
16. Keluarga besar BTX 2011 terima kasih atas waktu bersama dan momen bahagiannya. Khususnya Mona Siahaan dan Yosep Hutasoit yang selalu peduli kepada penulis.
17. Keluarga VERESIS 2011 baik yang sudah meraih sarjana dan sedang menyusul atas semangatnya dan canda tawanya selama menempuh studi di Teknik Industri.
18. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas semua dukungan dan doa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini mungkin terdapat kekurangan dan keterbatasan, oleh karena itu penulis memohon maaf atas segala kekurangan yang ada. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak dan dapat memberikan masukan dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan bangsa.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
BAB 1 .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan dan Asumsi .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB 2 .....	7
2.1 Konsep <i>Project Reliability</i> .....	7
2.2 Hubungan antara Waktu-Biaya Proyek .....	7
2.3 Hubungan antara Durasi-Sumber Daya Proyek .....	8
2.4 Hubungan antara Biaya- Sumber Daya Proyek .....	8
2.5 Simulasi Monte Carlo .....	9
2.6 Penelitian Terdahulu .....	10
BAB 3 .....	15
3.1 Tahapan Konsep Waktu, Biaya, dan Sumber Daya Proyek .....	16
3.2 Tahap Konsep <i>Project Reliability</i> .....	17
3.3 Tahap Pengembangan Model .....	17

3.3.1	Tahap Pengembangan Model Keandalan Proyek.....	17
3.3.2	Tahap Model Konseptual.....	17
3.4	Tahap Penentuan Teknik Solusi.....	18
3.4.1	Menghitung Total Durasi Proyek .....	18
3.4.2	Menghitung Total Biaya Proyek .....	18
3.4.3	Menghitung Keandalan Proyek .....	18
3.5	Tahapan Percobaan Numerik.....	18
3.6	Tahapan Kesimpulan dan Saran.....	18
BAB 4	.....	19
4.1	Kondisi Eksisting .....	19
4.2	Pengembangan Model.....	23
4.2.1	Modeling Ketidakpastian.....	23
4.2.2	Modeling Konsep Simulasi .....	33
4.2.3	Estimasi Probabilitas Keberhasilan Proyek.....	36
BAB 5	.....	37
5.1	Percobaan Numerik I .....	37
5.1.1	Total Waktu Proyek.....	37
5.1.2	Total Biaya Proyek .....	38
5.1.3	Probabilitas Keberhasilan Proyek Mencapai Target .....	39
5.2	Percobaan Numerik II.....	41
5.2.1	Total Waktu Proyek.....	45
5.2.2	Total Biaya Proyek .....	45
5.2.3	Probabilitas Keberhasilan Proyek Mencapai Target .....	46
BAB 6	.....	49
6.1	Kesimpulan .....	49
6.2	Saran .....	49

DAFTAR PUSTAKA .....	51
LAMPIRAN.....	53

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian-Penelitian Sebelumnya .....	11
Tabel 4.1 Rancangan Keperluan Proyek Perusahaan X.....	22
Tabel 4.2 Material Perusahaan X.....	26
Tabel 4.3 <i>Worker</i> Perusahaan X.....	27
Tabel 4.4 <i>Equipment</i> Perusahaan X .....	29
Tabel 4.5 Deskripsi Aktivitas dengan Estimasi Sumber Daya, Waktu, dan Biaya Proyek .....	31
Tabel 5.1 Keandalan Proyek Percobaan Numerik 1 .....	40
Tabel 5.2 Rancangan Keperluan Proyek Pembangunan Gedung.....	43
Tabel 5.3 Rancangan Keperluan Proyek Pembangunan Gedung (Lanjutan).....	44
Tabel 5.4 Keandalan Proyek Percobaan Numerik 2 .....	47

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Contoh Relasi Estimasi Durasi dan Biaya Proyek .....	3
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian .....	15
Gambar 3.2 Metodologi Penelitian (Lanjutan) .....	16
Gambar 4.1 Relasi Hubungan Waktu-Biaya-Sumber Daya Pada Fase Perencanaan .....	20
Gambar 4.2 Network Diagram.....	21
Gambar 4.3 Relasi Hubungan Cost-Time .....	24
Gambar 4.4 Model Konseptual Relasi Time-Cost-Material .....	25
Gambar 4.5 Model Konseptual Relasi Time-Cost-Worker.....	27
Gambar 4.6 Model Konseptual Relasi Time-Cost-Equipment .....	28
Gambar 4.7 Influence Diagram.....	30
Gambar 4.8 Flowchart Simulasi Monte Carlo .....	34
Gambar 5.1 Hasil Simulasi Total Waktu Proyek.....	38
Gambar 5.2 Hasil Simulasi Total Biaya Proyek .....	38
Gambar 5.3 Hasil Simulasi Keandalan Proyek .....	39
Gambar 5.4 Hasil Simulasi Total Waktu Proyek .....	45
Gambar 5.5 Hasil Simulasi Total Biaya Proyek .....	46
Gambar 5.6 Hasil Simulasi Keandalan Proyek .....	47

(halaman ini sengaja dikosongkan)

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat, batasan dan asumsi serta sistematika penulisan laporan tugas akhir ini.

### **1.1 Latar Belakang**

Proyek didefinisikan sebagai serangkaian kegiatan dan tugas yang memiliki tujuan tertentu yang memiliki spesifikasi tertentu, memiliki dana yang terbatas, menggunakan sumber daya baik manusia maupun *nonhuman resource* (contohnya fasilitas, bahan baku, dan mesin) (Kerzner, 2003). Dalam pelaksanaannya, akan selalu ada kendala atau masalah yang akan terjadi pada setiap proyek, oleh karena itu diperlukan manajemen proyek yang baik agar proyek dapat berjalan dan selesai dengan baik. Manajemen proyek adalah aplikasi pengetahuan (*knowledge*), keterampilan (*skills*), alat (*tools*), dan teknik (*techniques*) dalam aktivitas-aktivitas proyek untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan proyek (Santosa, 2009). Proyek memiliki banyak karakteristik, beberapa diantaranya adalah dioperasikan oleh manusia, memiliki sumber daya yang terbatas, dan terdapat tiga fase aktivitas yaitu perencanaan, pelaksanaan, dan kontrol (PMBOK, 2004)

Keberhasilan proyek dapat dinilai dari parameter *Iron Triangle* (kualitas, biaya, dan durasi proyek). Banyak penulis telah mengembangkan dan meneliti ketiga aspek *The Iron Triangle*, ada yang berfokus pada satu parameter atau kombinasi (keterkaitan) antar parameter. Pada bidang waktu (durasi) proyek, tahun 1950 dikembangkan metode CPM dan PERT yang digunakan untuk menghitung waktu penyelesaian sebuah proyek. CPM dapat digunakan apabila durasi setiap aktivitasnya deterministik. Sedangkan PERT digunakan apabila durasi setiap aktivitas tidak pasti.

Pada bidang biaya proyek, Elkjaer (2000) mengusulkan sebuah konsep yaitu *Stochastic Budget Simulation* untuk mengukur biaya proyek dan ketidakpastian. Dalam bidang interaksi antara waktu dan biaya, Taylor dan Davis (1978)

mengembangkan model GERT Simulation. Pada penelitian ini waktu dan biaya yang digunakan bersifat stokastik. Kemudian pada tahun 2001, Chan meneliti hubungan antara biaya dan waktu dalam sebuah studi kasus di Malaysia berdasarkan persamaan Bromilow.

Pada bidang kualitas proyek, Burati et al (1992) mendefinisikan kualitas sebagai kesesuaian dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Ia juga meneliti biaya tambahan yang dikeluarkan apabila suatu aktivitas tidak memenuhi spesifikasi (*non-conformities*). Kemudian Dawson dan Dawson (1994) mengembangkan model PERT yang dapat mengakomodasi adanya kemungkinan sukses atau gagal pada sebuah aktivitas dalam proyek yang diberi nama GAN (*General Activity Network*).

Konsep dasar kombinasi (interaksi) antara kualitas, biaya, dan waktu proyek dibawah ketidakpastian pertama kali diusulkan oleh Kidd (1987). Ia mengusulkan penggunaan VERT (*Venture Evaluation Review Technique*) tidak hanya digunakan untuk memperkirakan waktu proyek, tetapi juga untuk mengevaluasi kualitas dan total biaya dengan indikator yang disebut keandalan (*reliability*). Namun diskusi tersebut hanya berhenti pada satu atau kombinasi waktu dan biaya. Selanjutnya Babu dan Suresh (1996) dan Tareghian dan Taheri (2006) meneliti optimasi dan *trade-off* antara waktu, biaya, dan kualitas yang bersifat deterministik. Akan tetapi pada penelitian ini belum mempertimbangkan adanya unsur ketidakpastian.

Kemudian terdapat Saputra dan Ladamay (2011) yang mengembangkan model Taylor dan Davis (1978). Saputra dan Lamaday meneliti ketiga parameter kualitas, biaya, dan waktu dalam sebuah jaringan proyek. Penelitian ini mengusulkan konsep *project reliability* yaitu sebuah konsep untuk mengevaluasi sebuah perencanaan proyek yang mencari nilai probabilitas proyek dapat memenuhi target kualitas, biaya, dan waktu dibawah ketidakpastian.

Salah satu komponen dalam sebuah proyek adalah sumber daya. Banyak penelitian telah mendiskusikan tentang sumber daya dalam proyek. Dalam penelitian-penelitian tersebut lebih banyak berfokus pada penggunaan sumber daya untuk penjadwalan (*scheduling*). Yamashita et al (2004), Kurniyawan (2007), dan Yudha et al (2012) adalah beberapa peneliti yang mendiskusikan tentang

hubungan antara penggunaan sumber daya dengan optimasi biaya proyek. Fahti dan Afshar (2008) mendiskusikan mengenai kombinasi yang paling optimal antara waktu, biaya, dan penggunaan sumber daya dalam penjadwalan pada sebuah proyek. Sumber daya didefinisikan sebagai pekerja (*man*).

Semua manajer proyek tahu bahwa tidak ada yang pernah berjalan persis sesuai rencana dalam sebuah proyek. Oleh karena itu untuk mengantisipasi adanya kejadian terduga yang tidak diharapkan yang akan mengganggu keberlangsungan proyek maka diperlukan perencanaan yang baik. Perencanaan yang baik harus dapat menghasilkan estimasi durasi, biaya, dan sumber daya yang ideal namun juga realistis yang mendekati keadaan proyek.

Taylor dan Davis (1978) mengukur keberhasilan proyek berdasarkan estimasi waktu penyelesaian dan biaya proyek dengan mempertimbangkan ketidakpastian pada waktu dan relasi antara waktu dan biaya. Gambar 1.1 merupakan contoh dari aplikasi model yang dikembangkan oleh Taylor dan Davis.

Activity (nodes)	Activity description	Probability of occurrence	Time estimates (days)			Distribution	Cost estimates (\$)	
			Min	Mode	Max		Set-up	Variable
10-11	Start process	1.00		0		Constant	500	0
11-12	Establish system objectives	1.00	10	20	30	Beta	0	100
12-13	Identify current system	1.00	5	10	20	Beta	0	75
13-14	Abstract game development	1.00	15	30	60	Beta	2500	100
14-15	Game playing	1.00	20	35	65	Beta	0	150
15-16	System washout	0.05		0		Constant	0	0
15-17	Develop game simulator	0.60	15	30	60	Beta	3000	100
15-11	Reestablish objectives	0.01		0		Constant	0	0
15-13	Alter abstract game	0.03		0		Constant	0	0
15-14	Participate in more gaming	0.31		0		Constant	0	0
17-18	Game playing	1.00	20	40	65	Beta	0	125
18-19	Operationalize	1.00	10	25	50	Beta	1000	100
19-20	More game playing	0.20	5	15	30	Beta	0	125
19-21	Dummy	0.80		0		Constant	0	0
21-22	Evaluate performance	1.00	7	15	30	Beta	0	75
20-21	Operationalize	1.00	8	15	30	Beta	0	100
22-23	Final completion	0.90	5	10	25	Beta	0	100
22-15	Redevelop simulator	0.07		0		Constant	0	0
22-13	Redevelop game	0.02		0		Constant	0	0
22-11	Reestablish objectives	0.01		0		Constant	0	0

Gambar 1.1 Contoh Relasi Estimasi Durasi dan Biaya Proyek  
Sumber : (Taylor III & Davis, 1978)

Pada kenyataannya sumber daya yang digunakan pada proyek adalah *trigger* (sumber) ketidakpastian. Sumber daya mempengaruhi langsung waktu penyelesaian proyek dan biaya proyek. Hal ini yang belum dipertimbangkan pada penelitian Taylor dan Davis.

Pengukuran keberhasilan proyek atas estimasi sumber daya dan target waktu dan biaya sangat perlu dihitung. Pengukuran keberhasilan proyek ini dapat menjadi salah satu pertimbangan bagi manajer proyek menilai proyek tersebut layak untuk dilaksanakan atau perlu adanya perbaikan atau penyesuaian. Penelitian-penelitian dalam bidang manajemen proyek telah berkembang namun belum terdapat penelitian yang meninjau lebih lanjut relasi sumber daya dengan waktu dan biaya proyek untuk mengukur keberhasilan memenuhi target proyek.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan pada latar belakang yang telah disampaikan sebelumnya, maka permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana mengukur keandalan sebuah proyek (probabilitas keberhasilan proyek memenuhi target biaya dan waktu) dengan mempertimbangkan relasi antara waktu, biaya, dan sumber daya proyek dibawah ketidakpastian.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan model relasi antara waktu, biaya, dan sumber daya proyek dibawah ketidakpastian untuk menghitung nilai keandalan proyek (probabilitas keberhasilan proyek memenuhi target biaya dan waktu).

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut membuat model hubungan (relasi) waktu, biaya, dan sumber daya proyek dibawah ketidakpastian untuk mengukur keandalan proyek yang berguna bagi manajer proyek sebagai dasar menilai perencanaan proyek.



## **1.5 Batasan dan Asumsi**

Berikut ini adalah batasan dan sumsi yang digunakan pada penelitian ini :

### **1.5.1 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Faktor sumber daya proyek yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah pekerja (*worker*), material, dan *equipment*.
2. Objektif perencanaan adalah memenuhi target waktu dan biaya.
3. Landasan berpikir dalam penelitian ini adalah ketidakpastian pada sumber daya proyek adalah *price rate* dan *defect quantity* (untuk material). Ketidakpastian pada waktu proyek didekatkan langsung dari aktivitas dan jumlah sumber daya dalam bentuk pesimis, moderat, dan optimis. Ketidakpastian pada biaya proyek adalah akibat dari ketidakpastian dari waktu dan sumber daya proyek.
4. Validasi model diujikan pada dua contoh kasus percobaan numerik.

### **1.5.2 Asumsi**

Adapun asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah setiap sumber daya proyek tidak saling berkaitan dan tidak mempengaruhi satu sama lain.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan terdiri dari rincian isi masing-masing bab laporan penelitian ini. Berikut merupakan paparan dari sistematika penulisan masing-masing bab dalam laporan penelitian ini.

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, permasalahan yang akan diselesaikan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam laporan penelitian ini.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi landasan terhadap penelitian yang dilakukan dengan menggunakan berbagai studi literatur yang membantu peneliti dalam memahami permasalahan yang diselesaikan dan metode yang sesuai dengan permasalahan.

Pada tinjauan pustaka penelitian ini dipaparkan pengertian dan perkembangan model.

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi penjelasan mengenai metodologi penelitian yang digunakan dalam melakukan penelitian. Metodologi penelitian terdiri dari tahapan ataupun urutan langkah yang harus dilakukan oleh peneliti sehingga penelitian berjalan secara sistematis dan terarah. Tahapan metodologi penelitian dimulai dari perumusan masalah, penyelesaian masalah, hingga mendapatkan kesimpulan dan saran dari penelitian.

### **BAB 4 PENGEMBANGAN MODEL**

Bab ini berisi usulan model hubungan biaya, waktu, dan sumber daya juga model hubungan antara waktu, biaya, dan sumber daya. Selain itu juga pada bab ini akan dijelaskan teknik solusi yang akan digunakan.

### **BAB 5 NUMERICAL EXERCISE**

Bab ini berisi mengenai contoh penggunaan model yang telah dikembangkan dengan tujuan untuk memberi gambaran dalam implementasi model.

### **BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan akhir penelitian dan saran yang diberikan terhadap hasil penelitian untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai studi literatur yang telah dilakukan dan digunakan dalam penelitian ini.

#### **2.1 Konsep *Project Reliability***

*Project reliability* adalah sebuah nilai (%) yang memberikan suatu informasi peluang keberhasilan sebuah proyek. Keberhasilan didefinisikan sebagai kesuksesan mencapai target dari parameter (*cost-time-quality*) yang telah ditentukan (Saputra & Ladamay, 2011). Nilai ini dapat memberikan gambaran kepada manajer proyek apakah proyek tersebut sesuai atau tidak dengan ekspektasi. Sehingga manajer dapat mengambil keputusan proyek tersebut layak atau tidak untuk dilaksanakan.

Jika nilai *project reliability* kurang dari *confident level* yang telah ditetapkan, maka perlu dilakukan beberapa penyesuaian agar nilai *project reliability* dapat meningkat sesuai dengan *confident level*. Jika nilai *project reliability* telah melebihi *confident level* maka sebaiknya dilakukan mitigasi resiko untuk menjaga nilai *project reliability* tetap terjaga (Firmansyah & Saputra, 2012).

Konsep dasar *project reliability* adalah menghitung probabilitas parameter dari sebuah proyek berhasil memenuhi target yang telah ditentukan. Jika semua parameter dapat memenuhi target, maka proyek tersebut dinyatakan sukses (indeks=1). Sedangkan apabila setidaknya satu parameter gagal memenuhi target, maka proyek tersebut dinyatakan gagal (indeks=0). Dengan melakukan perulangan eksperimen sebanyak x kali percobaan, maka akan didapatkan berapa kali proyek berhasil dan berapa kali proyek gagal. Jumlah berhasil dibandingkan dengan total percobaan adalah nilai dari *project reliability* proyek tersebut.

#### **2.2 Hubungan antara Waktu-Biaya Proyek**

Taylor dan Davis (1978) menyatakan bahwa waktu aktivitas mengikuti *beta distribution* atau *constant distribution*. Biaya terbagi menjadi dua yaitu yang

terdiri dari *set up cost* dan *variable cost*. *Set up cost* bersifat independen terhadap waktu (*fixed cost*) dan mengikuti *constan distribution*. Sedangkan *variable cost* bersifat dependen terhadap waktu dari sebuah aktivitas (waktu adalah sebuah *random variable*) dan mengikuti *beta distribution*. Suatu aktivitas dapat memiliki salah satu dari *set up cost* atau *variable cost*, atau bahkan keduanya. Berikut ini adalah contoh tabel yang digunakan oleh Taylor dan Davis untuk menggambarkan hubungan *time* dan *cost* dibawah ketidakpastian. Taylor dan Davis memodelkan relasi hubungan durasi dan biaya proyek berdasarkan data historis. Apabila tidak terdapat data historis sebelumnya untuk suatu aktivitas tertentu maka dapat menggunakan penilaian subjektifitas dari manajer proyek yang berpengalaman.

### **2.3 Hubungan antara Durasi-Sumber Daya Proyek**

Pada sebuah proyek banyak hal tidak terduga yang terjadi yang dapat membuat durasi proyek berubah. Saat durasi proyek berubah, maka otomatis pekerja juga harus bekerja lebih lama dari yang diperkirakan. Selain itu bila ada peralatan besar yang sifatnya sewa, maka perlu ada waktu sewa tambahan yang diperlukan.

Ketidakpastian yang ada pada waktu akan mempengaruhi ketidakpastian kebutuhan waktu kerja pekerja dan kebutuhan waktu operasi equipment atau mesin yang lebih lanjut akan mengakibatkan pembengkakan biaya.

### **2.4 Hubungan antara Biaya- Sumber Daya Proyek**

Pada suatu proyek dalam tahap perencanaan (konsepsi) sudah harus dilakukan perkiraan biaya sehingga didapatkan perkiraan biaya proyek yang cukup layak untuk dilaksanakan. Sehingga dibutuhkan estimasi biaya digunakan untuk menyusun anggaran, dan pada akhirnya akan dijadikan dasar untuk mengevaluasi performansi proyek.

Menurut Santosa (2009) anggaran adalah suatu rencana pengalokasian sumber daya. Sehingga penganggaran adalah tindakan bagaimana mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk berbagai kegiatan dalam suatu organisasi selama jangka waktu tertentu. Telah disebutkan sebelumnya bahwa sumber daya yang digunakan dalam penelitian ini adalah pekerja, material, dan *equipment*. Biaya

tenaga kerja adalah salah satu elemen biaya yang penting untuk dihitung karena tenaga kerja adalah yang menjalankan sebuah proyek. Komponen-komponen yang mempengaruhi biaya tenaga kerja adalah tingkat upah per tenaga kerja (*rate* pekerja), volum pekerjaan, dan jumlah waktu kerja.

Estimasi biaya material yang akan digunakan perlu dilakukan. Jenis material, kualitas material, jumlah yang digunakan harus diestimasi dengan baik. Kekurangan atau keterlambatan kedatangan material mengakibatkan penyelesaian proyek terhambat.

Estimasi biaya *equipment* memiliki banyak komponen. Pertimbangan membeli atau menyewa menjadi salah satu faktor yang penting dipertimbangkan. Kebutuhan kapasitas beban kerja, jumlah *equipment*, biaya beli atau biaya sewa, dan biaya operasional.

## **2.5 Simulasi Monte Carlo**

Simulasi monte carlo merupakan metode statistik yang digunakan untuk menilai tingkat resiko untuk mengevaluasi ketidakpastian. Simulasi monte carlo semakin berkembang seiring dengan banyaknya aplikasi *software* komputer yang membantu untuk menggunakan simulasi monte carlo *algorithm* (Palisade Corporation, 2009).

Pada prinsipnya simulasi monte carlo adalah menguji sebuah proses dengan melakukan perulangan eksperimen. Simulasi monte carlo akan *generate* nilai *random number* sesuai dengan distribusi tertentu menjadi probabilitas distribusi *output* yang diinginkan. Untuk mengakomodasi faktor ketidakpastian, simulasi monte carlo akan mengubah *input* dan *output* dengan melakukan beberapa N replikasi yang telah ditentukan (Chen, et al., 2009).

Simulasi monte carlo telah banyak diimplementasikan pada model *network activity* pada *project management* dengan basis *iron triangle* untuk mengakomodasi ketidakpastian. Seperti PERT yang berbasis waktu project yang dikembangkan oleh Chen et al (2009), *Simulation Budget Stochastic* yang berbasis biaya proyek (Elkjaer, 2000), GERT yang berbasis probability percabangan aktivitas proyek dan hubungan antara waktu dan biaya proyek (Taylor III & Davis, 1978), GAN yang berbasis *quality project* (Dawson &

Dawson, 1998) dan *project relibility* yang berbasis integrasi antara *iron triangle* (Saputra & Ladamay, 2011).

## **2.6 Penelitian Terdahulu**

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai beberapa penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya yang terkait dengan penelitian ini. Tabel 2.1 menjelaskan perbandingan antara penelitian-penelitian tersebut :

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian-Penelitian Sebelumnya

No	Nama	Judul	Tahun	Sifat		Relationship			
				Deterministik	Stokastik	Cost	Time	Quality	Resource
1	Wolff, Cass, dan McElroy	<i>The Use of "Program Evaluation and Review Technique" (PERT) in the Design and Control of a Medical Research Project</i>	1968		√		√		
2	Elkjaer	<i>Stochastic Budget Simulation</i>	2000		√	√			
3	Taylor dan Davis	<i>Evaluating Time/Cost Factors of Implementation via GERT Simulation</i>	1978		√	√	√		
4	Dawson dan Dawson	<i>Practical Proposal for Managing Uncertainly and Risk in Project Planning</i>	1998		√	√		√	
5	Kidd	<i>A Comparison Between VERT Program and Other Method of Project Duration Estimation</i>	1987		√	√	√	√	
6	Saputra dan Ladamay	<i>Project Reliability: Probability Of A Project Meets its Quality-Cost-Time Target Under Uncertainty</i>	2011		√	√	√	√	
7	Yamashita, Armentano, Laguna	<i>Scatter Search for Project Scheduling with Resource Availability Cost</i>	2004	√		√			√
8	Fahti dan Afshar	<i>Multiple Resource Constraint Time-Cost-Resource Optimization Using Genetic Algorithm</i>	2008	√		√	√		√
9	Cahyana	Pengembangan Model Keandalan Proyek dengan Mempertimbangkan Hubungan Waktu, Biaya, dan Sumber Daya dibawah Ketidakpastian	2015		√	√	√		√

1. Wolff, Cass, dan McElroy : *The Use of "Program Evaluation and Review Technique" (PERT) in the Design and Control of a Medical Research Project*

Penelitian ini menggunakan PERT yang dikembangkan oleh Angkatan Laut Amerika Serikat pada tahun 1958. PERT pada penelitian ini diterapkan pada proyek penelitian medis pada sebuah rumah sakit di Toronto. Dengan bantuan komputer sehingga dapat diketahui durasi masing-masing aktivitas dan "critical path" dari proyek. Teknik PERT secara signifikan membantu untuk mengatur proyek dan mempertahankan kemajuan bidang kesehatan.

2. Eljaer : *Stochastic Budget Simulation*

Penelitian ini merupakan metodologi yang diusulkan untuk menilai biaya proyek dibawah ketidakpastian. Tujuannya untuk menampilkan potensi ketidakpastian pada suatu hasil evaluasi ekonomi. Faktor ketidakpastian pada biaya digambarkan dengan menggunakan bilangan random dari distribusi *triangular* atau distribusi *erlang* (tiga parameter : pesimis, optimis, moderat). Estimasi total biaya proyek menggunakan simulasi untuk mendapatkan estimasi biaya dari setiap aktivitas.

3. Taylor dan Davis : *Evaluating Time/Cost Factors of Implementation via GERT Simulation*

Taylor dan Davis meneliti kombinasi antara parameter biaya dan waktu yang bersifat stokastik. Parameter biaya dibagi menjadi dua yaitu *set up cost* (*fixed cost*) dan *variable cost*. Sedangkan parameter waktu terdiri dari tiga estimasi yaitu minimal, moderat, dan maksimal. Simulasi GERT digunakan untuk mendapatkan nilai *expected time* dan *expected cost* pada proyek tersebut.

4. Dawson dan Dawson : *Practical Proposal for Managing Uncertainty and Risk in Project Planning*

Dawson dan Dawson mengembangkan model PERT yang dapat mengakomodasi adanya kemungkinan sukses atau gagal pada sebuah aktivitas dalam proyek yang diberi nama GAN (*General Activity Network*). Definisi kualitas pada penelitian ini adalah sukses atau tidaknya suatu aktivitas.



Pengembangan GAN dilakukan dengan memfokuskan pada *Activity on Node* yang mempertimbangkan unsur ketidakpastian.

5. Kidd : *A Comparison Between VERT Program and Other Method of Project Duration Estimation*

Kidd mengusulkan penggunaan VERT (*Venture Evaluation Review Technique*) tidak hanya digunakan untuk memperkirakan waktu proyek, tetapi juga untuk mengevaluasi kualitas dan total biaya dengan indikator yang disebut keandalan (*reliability*). Hasil simulasi VERT dapat digunakan untuk mengakomodasi waktu, biaya, dan kinerja secara bersamaan serta mampu menentukan distribusi dari sampel data. Namun diskusi tersebut hanya berhenti pada satu atau kombinasi waktu dan biaya.

6. Saputra dan Ladamay : *Project Reliability: Probability Of A Project Meets its Quality-Cost-Time Target Under Uncertainty*

Saputra dan Ladamay (2011) mengusulkan konsep *project reliability* yaitu sebuah konsep untuk mengevaluasi sebuah perencanaan proyek yang mencari nilai probabilitas proyek dapat memenuhi target kualitas, biaya, dan waktu. Kualitas pada penelitian ini dinyatakan dalam probabilitas aktivitas tersebut sukses. Apabila suatu aktivitas gagal, maka akan ada *correction action* yang dilakukan sehingga menimbulkan tambahan biaya dan waktu. Pengukuran *project reliability* sangatlah penting. Dari nilai hasil pengukuran *project reliability* tersebut, pengambil keputusan dapat membuat perencanaan yang lebih baik. Model *project reliability* yang dikembangkan adalah pengembangan dari model GAN (*Generalized Activity Network*) yang diusulkan oleh Dawson dan Dawson (1994). GAN diakomodasi untuk mengetahui aliran aktivitasnya dengan mempertimbangkan faktor kualitas.

7. Yamashita, Armentano, Laguna : *Scatter Search for Project Scheduling with Resource Availability Cost*

Penelitian ini membahas mengenai penjadwalan sebuah proyek dengan tujuan untuk meminimasi biaya yang akan dialokasikan untuk sumber daya.

Metode yang digunakan adalah RACP (*resource availability cost problem*). Metode ini digunakan untuk meminimasi biaya dari sumber daya yang digunakan untuk menyelesaikan proyek.

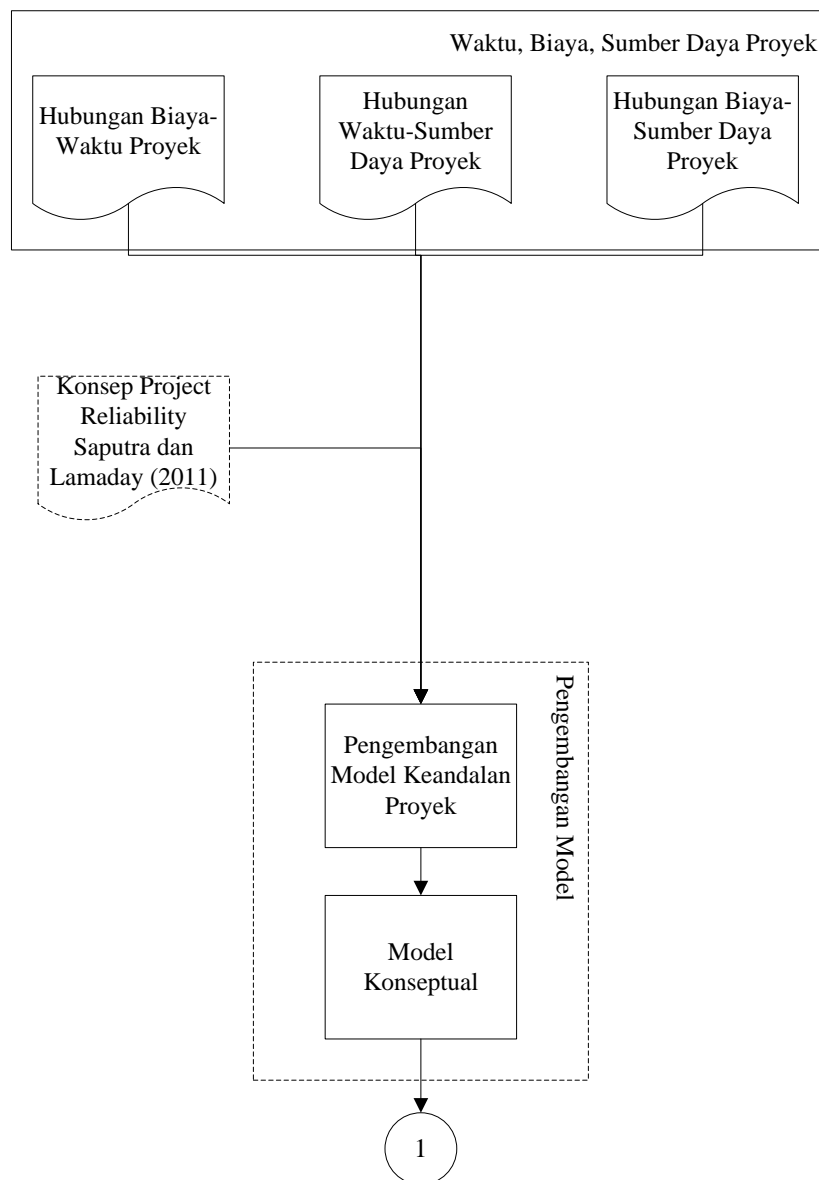
8. Fahti dan Afshar : *Multiple Resource Constraint Time-Cost-Resource Optimization Using Genetic Algorithm*

Penelitian ini mencari kombinasi yang paling optimal antara waktu, biaya, dan sumber daya dalam penjadwalan pada sebuah proyek. Parameter yang digunakan bersifat deterministik. Metode yang digunakan *genetic algorithm* untuk menentukan kombinasi terbaik antara waktu, biaya, dan sumber daya dalam membentuk sebuah penjadwalan.

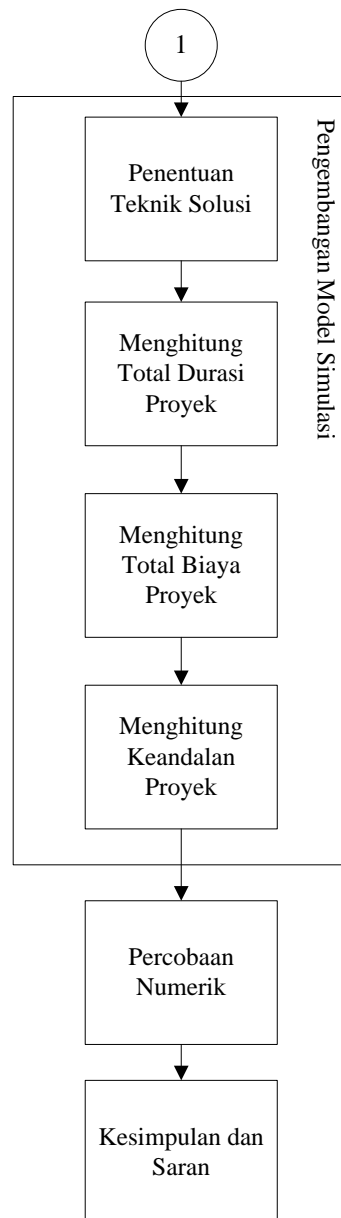
### BAB 3

## METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan tahapan-tahapan dan penjelasan pengerjaan yang dilakukan dalam penelitian :



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian



Gambar 3.2 Metodologi Penelitian (Lanjutan)

### 3.1 Tahapan Konsep Waktu, Biaya, dan Sumber Daya Proyek

Pada tahap ini dilakukan *literature review* tentang sumber daya, biaya, dan waktu dalam sebuah proyek. Sumber yang digunakan berasal dari tugas akhir dan buku-buku manajemen proyek. Sumber daya proyek terdiri dari manusia, mesin, bahan baku, dan fasilitas proyek. Manusia adalah elemen utama yang mengoperasikan sebuah proyek, namun manusia bukanlah sebuah mesin sehingga dapat melakukan kesalahan. Ketidakpastian manusia yang bekerja dalam sebuah

proyek akan berdampak pada ketidakpastian durasi proyek dan biaya proyek. Pada tahap ini akan ditinjau relasi antara biaya-waktu proyek, waktu-sumber daya proyek, dan biaya-sumber daya proyek.

### **3.2 Tahap Konsep *Project Reliability***

Pada tahap ini dilakukan *literature review* tentang konsep *project reliability* yang dikembangkan oleh Saputra dan Ladamay (2011). Sumber dari *literature review* didapat dari jurnal, artikel terkait, dan buku. Adapun konsep yang menyusun *project reliability* adalah konsep *project management*, integrasinya dari parameter *iron triangle (cost,time,quality)*, *project activity network* (AoA, AoN, CPM, PERT, VERT, GAN), faktor ketidakpastian dalam proyek, dan simulasi monte carlo. Dalam *project reliability* terdapat dua kemungkinan nilai yang dihasilkan yaitu seluruh target terpenuhi (proyek berhasil) atau terdapat salah satu target yang tidak terpenuhi (proyek gagal).

### **3.3 Tahap Pengembangan Model**

Tahap ini akan membuat usulan pengembangan model hubungan antara biaya, waktu, dan sumber daya proyek yang digunakan dibawah ketidakpastian. Pada tahap ini terdiri dari pembuatan model konseptual, penentuan teknik solusi, dan percobaan numerik.

#### **3.3.1 Tahap Pengembangan Model Keandalan Proyek**

Pada bagian ini akan dilakukan pengembangan keandalan proyek (keberhasilan proyek) yang telah ada dengan menyesuaikan dengan tambahan komponen sumber daya.

#### **3.3.2 Tahap Model Konseptual**

Pada bagian ini dilakukan pembuatan model konseptual yang bertujuan untuk menjelaskan hubungan/relasi antar variabel atau komponen yang kemudian mempengaruhi tingkat keandalan proyek.

### **3.4 Tahap Penentuan Teknik Solusi**

Pada sub bab ini akan membahas metode yang akan digunakan untuk mengukur nilai dari keandalan proyek. Metode yang akan digunakan harus dapat mengakomodasi faktor ketidakpastian dalam elemen biaya, waktu, maupun sumber daya.

#### **3.4.1 Menghitung Total Durasi Proyek**

Pada bagian ini akan dilakukan *generate* nilai acak untuk variabel waktu untuk mendapatkan durasi setiap aktivitas. Setelah itu dihitung total durasi proyek dengan menggunakan metode CPM.

#### **3.4.2 Menghitung Total Biaya Proyek**

Pada bagian ini akan dilakukan *generate* nilai acak untuk variabel-variabel penyusun biaya setiap aktivitas. Setelah itu dihitung total biaya proyek yang diperlukan.

#### **3.4.3 Menghitung Keandalan Proyek**

Setelah mendapatkan total biaya dan total durasi proyek lalu nilai tersebut dibandingkan dengan target biaya dan waktu untuk mendapatkan probabilitas keberhasilan proyek (keandalan proyek).

### **3.5 Tahapan Percobaan Numerik**

Untuk lebih mudah memahami tentang konsep model yang telah dikembangkan maka akan dilakukan percobaan numerik. Terdapat dua contoh yang digunakan untuk membantu memahami implementasi model.

### **3.6 Tahapan Kesimpulan dan Saran**

Pada tahap terakhir ini akan dibuat kesimpulan dan saran dari penelitian ini. Dan juga saran untuk penelitian lebih lanjut mengenai model yang telah dikembangkan dengan mempertimbangkan berbagai parameter dan variabel.

## **BAB 4**

### **PENGEMBANGAN MODEL**

Bab ini merupakan inti dari penelitian ini. Pada bab ini akan dilakukan pengembangan model relasi antara waktu-biaya-sumber daya proyek dibawah ketidakpastian.

#### **4.1 Kondisi Eksisting**

Proyek adalah serangkaian kegiatan dan tugas yang memiliki tujuan tertentu yang memiliki spesifikasi tertentu, memiliki dana yang terbatas, menggunakan sumber daya baik manusia maupun *nonhuman resource* (contohnya fasilitas, bahan baku, dan mesin) (Kerzner, 2003). Langkah-langkah umum yang digunakan dalam mengelola sebuah proyek adalah (Siregar, 2000):

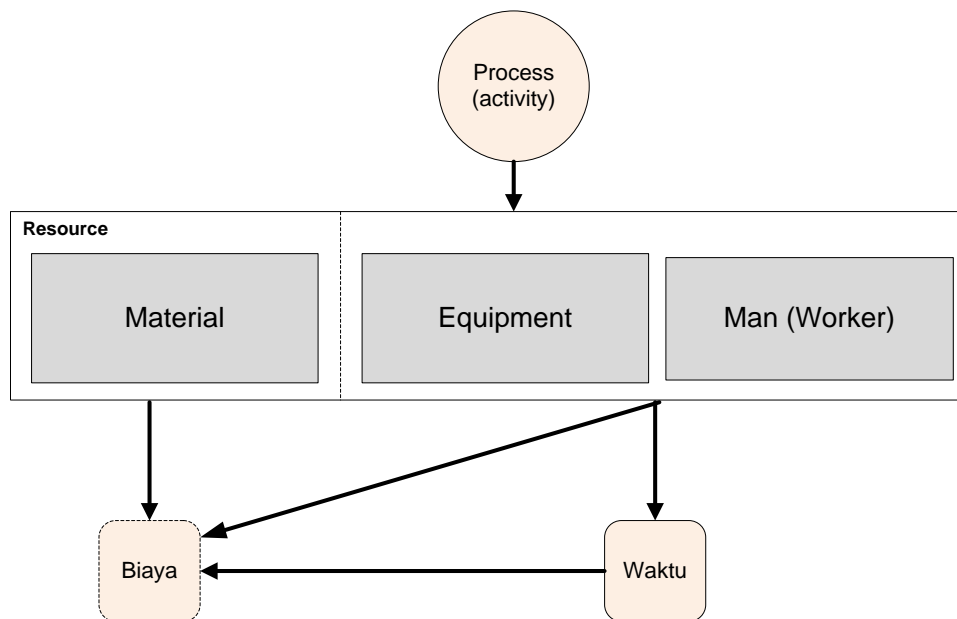
1. Penyusunan dan pendefinisian proyek
2. Perencanaan proyek
3. Pelaksanaan proyek
4. Penyelesaian dan evaluasi proyek.

Penelitian ini berfokus pada tahap perencanaan proyek. Perencanaan proyek adalah proses awal membentuk dan menyusun rencana pelaksanaan proyek. Pada tahap ini yang akan dilakukan adalah memperkirakan waktu, biaya, sumber daya tenaga kerja, bahan baku, pengadaan peralatan, hingga penyusunan jadwal. Hasil dari didapat dari tahapan ini adalah sebuah estimasi untuk tiga buah parameter, yaitu :

1. Durasi proyek : total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan sebuah aktivitas atau kegiatan (dalam jam, hari, minggu, atau bulan).
2. Sumber daya : jumlah unit material yang diperlukan, jumlah pekerja yang dibutuhkan, jenis peralatan apa yang akan digunakan dalam proyek.
3. Biaya proyek : total biaya yang akan dikeluarkan untuk menyelesaikan seluruh proyek hingga selesai.

Perencanaan biaya proyek adalah WBS (*work breakdown structrur*) yang dinyatakan dalam bentuk keuangan (*financial terms*). Terdapat dua cara menghitung perencanaan biaya yaitu *plan-driven budget* dan *budget-driven plan*. Pada penelitian ini berfokus cara perencanaan dengan *plan-driven budget*.

Estimasi adalah sebuah perkiraan yang memiliki tingkat kepercayaan tertentu. Semakin tinggi tingkat kepercayaannya, maka estimasi yang dibuat semakin akurat dan mendekati keadaan sebenarnya. Pada fase perencanaan, estimasi dan perkiraan yang dibuat menggunakan asumsi-asumsi tertentu. Estimasi umumnya dibuat bersifat deterministik. Estimasi akan dijadikan pertimbangan untuk menetapkan waktu dan biaya yang ditawarkan kepada klien dalam proposal proyek. Penentuan waktu dan biaya total tersebut harus dipertimbangkan dengan baik.



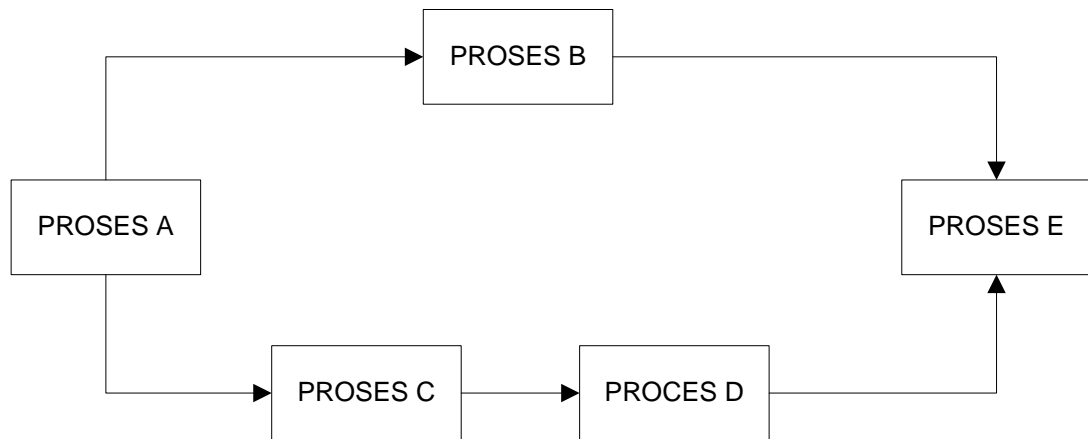
Gambar 4.1 Relasi Hubungan Waktu-Biaya-Sumber Daya Pada Fase Perencanaan

Gambar 4.1 menjelaskan alur pada fase perencanaan (*planning*). Langkah pertama adalah menentukan volum pekerjaan dan jenis aktivitas/kegiatan yang akan dikerjakan. Setelah itu dilakukan perkiraan kebutuhan sumber daya yang harus digunakan. Kemudian dibuat estimasi durasi penyelesaian dan estimasi



biaya yang diperlukan setiap aktivitas. Sumber daya yang ditetapkan bersifat deterministik. Sehingga estimasi durasi dan biaya proyek juga bernilai tunggal.

Berdasarkan penjelasan diatas, berikut ini adalah contoh sederhana dalam proses perencanaan sebuah proyek. Perusahaan X akan mengikuti sebuah tender untuk melakukan kegiatan tertentu. Setelah menganalisa aktivitas yang akan dilakukan, perusahaan X melakukan perencanaan terhadap proyek tersebut. Gambar 4.2 adalah rancangan kegiatan yang akan dilakukan untuk menyelesaikan proyek. Dan tabel 4.1 adalah rincian rancangan keperluan sumber daya, biaya, dan waktu penyelesaian yang dilakukan oleh perusahaan X.



Gambar 4.2 *Network Diagram*

Tabel 4.1 Rancangan Keperluan Proyek Perusahaan X

Activity	Material			Worker			Equipment			Time (day)	Cost
	Description	Quantity	Unit Price	Description	Quantity	Rate Worker	Description	Quantity	Rate Equipment		
A	Material I	100	Rp 20,000	Rate (per day)	1	Rp 2,000,000	Owned Operation (per day)	1	Rp - Rp 250,000	15	Rp 35,750,000
B	Material II	50	Rp 10,000	Rate (per activity)	-	Rp 5,000,000	Rent (per day) Operation (per day)	1	Rp 600,000 Rp 25,000	20	Rp 18,000,000
C	Material III	75	Rp 25,000	Rate (per activity)	-	Rp 9,000,000	Rent (per day) Operation (per day)	3	Rp 1,000,000 Rp 100,000	10	Rp 43,875,000
D	Material IV	90	Rp 5,000	Rate (per day)	2	Rp 300,000	Rent (per day) Operation (per day)	2	Rp 500,000 Rp 60,000	35	Rp 60,650,000
E	Material V	300	Rp 3,000	Rate (per activity)	-	Rp 5,000,000	Owned (buy) Operation (per day)	1	Rp 3,000,000 Rp 15,000	3	Rp 14,945,000

Critical Path

A-C-D-E

63

Rp 173,220,000

Hasil yang didapat dari perencanaan perusahaan X adalah waktu penyelesaian proyek adalah 63 hari dan total biaya yang diperlukan adalah Rp 173.220.000. Untuk mengakomodasi ketidakpastian yang mungkin terjadi, maka perlu ditambahkan *contingency plan* biaya dan waktu. Kemudian merancang proposal proyek dengan mempertimbangkan *margin profit plan* yang diharapkan.

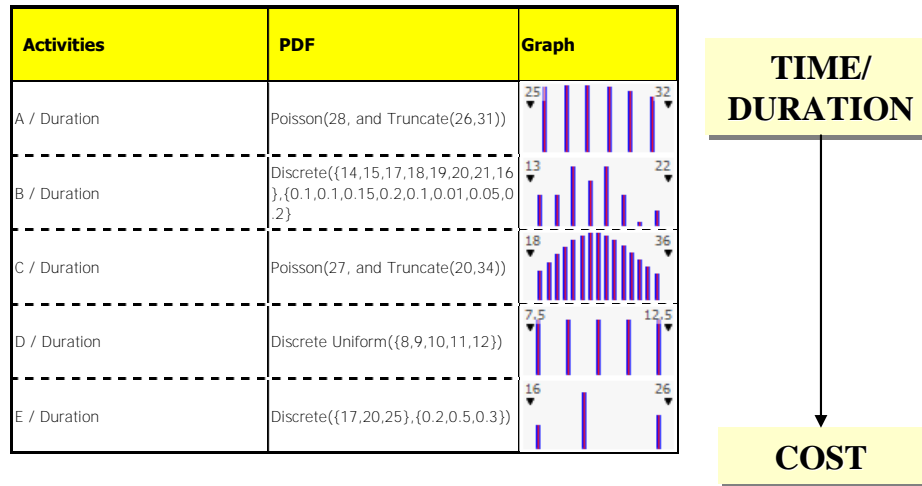
## **4.2 Pengembangan Model**

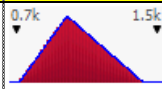
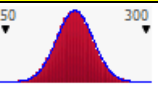
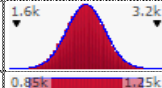
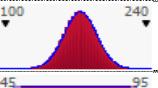



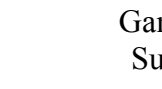
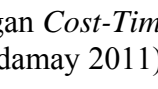
Pada keberlangsungan proyek secara langsung, banyak faktor-faktor baik internal maupun eksternal yang menyebabkan ketidakpastian. Oleh karena itu dari estimasi waktu dan biaya yang telah ditetapkan, diperlukan pengukuran keandaalannya untuk mencapai target dengan mempertimbangkan ketidakpastian.

### **4.2.1 Modeling Ketidakpastian**

Probabilitas keberhasilan sebuah proyek mencapai target adalah akibat yang disebabkan oleh adanya ketidakpastian pada saat proyek berjalan. Perkembangan penelitian mengenai hal ini masih sebatas relasi hubungan keterkaitan waktu dan biaya proyek. Gambar 4.3 adalah contoh dari relasi hubungan antara waktu dan biaya proyek yang dikembangkan oleh Saputra dan Lamaday.

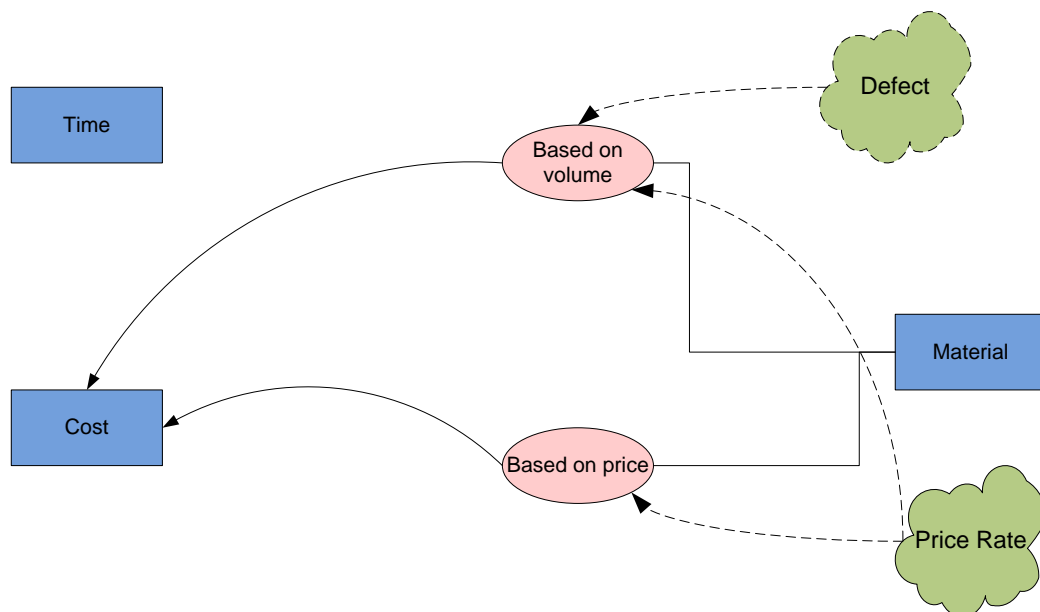
Saputra dan Lamaday menggambarkan ketidakpastian dalam bentuk distribusi yang terdapat pada variabel waktu dan biaya. Penetapan distribusi tersebut pada dasarnya adalah akibat dari adanya ketidakpastian pada sumber daya proyek. Namun belum ada penelitian yang mempertimbangkan adanya ketidakpastian pada sumber daya dan relasinya dengan waktu dan biaya proyek.



Name	Package (Fabrication, procurement, delivery, etc.) Charged	Additional Cost / day
Activity A	 Triangular(900,1000,1300) for 1st 20 days. Cost of fabrication/procurement of the items of A. The duration is fixed, but the cost is uncertain	 After fabrication/procurement, the rest activity A is installation. It required some days, uncertain. The cost required per day is following Normal Distribution(200,40)
Activity B	 Material cost will follow normal distribution (2400,200)	 For each installation days the cost will be charged following Normal distribution (100,15) / days
Activity C	 The material cost would follow uniform distribution (900, 1200) independent to the time/duration	
Activity D		 Each day activity D will be charged in cost following Normal Distribution (180,40)
Activity E	 The 1st 15 days the cost for fabrication/procurement will somehow fall in Triangular (400,620,900)	 the next after 15 days, the project cost will be charged following uniform distribution (300,350) / day

Gambar 4.3 Relasi Hubungan *Cost-Time*  
Sumber : (Saputra dan Ladamay 2011)

Sumber daya terbagi menjadi tiga yaitu material, pekerja/*worker*, dan *equipment*. Material atau bahan baku yang dipakai selama proyek terlaksana akan secara langsung mempengaruhi biaya yang akan dikeluarkan. Pada saat fase perencanaan, jumlah material yang dipakai sudah ditetapkan sesuai standard. Namun pada kenyataannya, pada saat proyek berlangsung ada kejadian yang tidak terduga yang dapat membuat material yang diperlukan berubah (terdapat ketidakpastian dalam jumlah/volum material). Contohnya adalah bahan baku rusak sebelum dapat dipakai, bahan baku yang diterima cacat, kadaluarsa, atau bahkan terjadi kesalahan pada saat pekerjaan sehingga diperlukan tambahan bahan baku. Selain itu, terdapat ketidakpastian dalam harga bahan baku yang akan digunakan, contohnya bahan baku impor yang dibeli dengan dollar (ketidakpastian nilai tukar rupiah) atau bahan baku yang akan digunakan belum diketahui secara pasti harga jualnya.



Gambar 4.4 Model Konseptual Relasi *Time-Cost-Material*

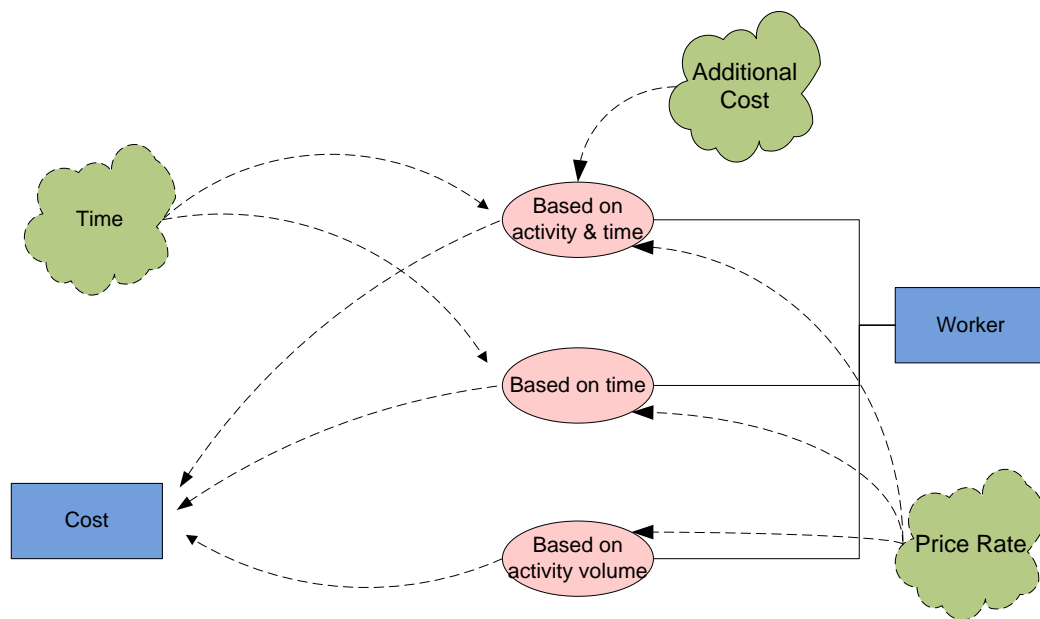
Pada kasus perusahaan X, material I, III, dan IV merupakan bahan baku yang mudah rusak, selain itu pekerjaan aktivitas A dan C memiliki kemungkinan gagal. Sehingga untuk mengantisipasi adanya kerusakan saat proyek berjalan, terdapat tambahan material I dan III. Maerial II dan V adalah bahan baku impor.

Untuk mengantisipasi ketidakpastian pada harga material II dan V, maka digambarkan menggunakan distribusi normal.

Tabel 4.2 Material Perusahaan X

Node	Act	Material			
		Description	Quantity	Defect Quantity	Price Rate
1	A	Material I	100	Uniform (10,20)	Rp 20,000
2	B	Material II	50	-	Normal (Rp 10.000, Rp 400)
3	C	Material III	75	Uniform (5,10)	Rp 25,000
4	D	Material IV	90	Uniform (5,10)	Rp 5,000
5	E	Material V	300	-	Normal (Rp 3.000, Rp 150)

Pekerja (*worker*) memiliki beberapa macam relasi (hubungan) dengan durasi dan biaya proyek. Yang pertama adalah skema penggajian berdasarkan aktivitas yang dilakukan. Biaya yang telah disepakati adalah tetap untuk suatu volum pekerjaan tertentu dan tidak berpengaruh seberapa lama pekerjaan itu dikerjakan, contohnya adalah buruh borongan. Yang kedua adalah skema penggajian perhari. Terdapat *rate* tertentu yang kemudian akan dikalikan jumlah hari pekerjaan yang kemudian akan menjadi besar gaji yang akan dibayarkan. Yang ketiga adalah skema penggajian berdasarkan volum aktivitas dan waktu pengerjaan. Contohnya apabila akan mempekerjakan seorang ahli target pekerjaan adalah waktu tertentu namun apabila pekerjaan ini ternyata lebih dari waktu yang telah disepakati, maka terdapat tambahan biaya. Ketidakpastian yang mungkin terjadi terdapat pada *rate worker* dan durasi proyek.



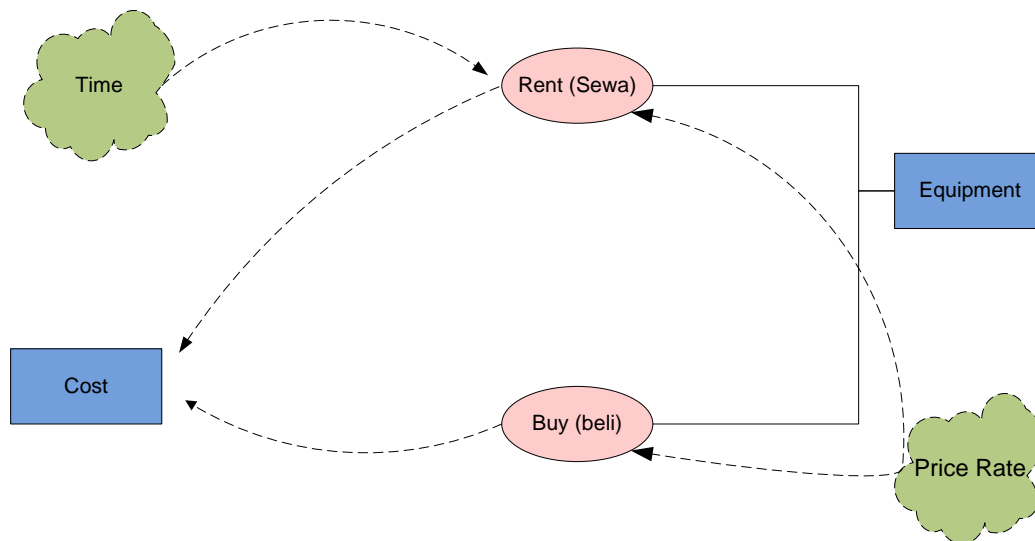
Gambar 4.5 Model Konseptual Relasi *Time-Cost-Worker*

Pada kasus perusahaan X, ketidakpastian yang terdapat dalam durasi aktivitas dinyatakan dalam PERT. Pada aktivitas C dan E *price rate* pekerja dinyatakan dengan distribusi normal karena perusahaan belum mengetahui biaya secara pasti. Pada aktivitas B pekerja dibayar berdasarkan aktivitas. Namun apabila aktivitas B selesai lebih dari 20 hari, maka terdapat *additional cost* sebesar Rp 100.000/hari.

Tabel 4.3 *Worker* Perusahaan X

Node	Act	Worker		
		Description	Quantity	Price Rate
1	A	Worker A (per day)	1	Rp 2,000,000
2	B	Worker B (per activity) Additional rate (per day)	-	Rp 5,000,000
				Rp 100,000
3	C	Rate (per activity)	-	Normal (Rp 9.000.000, Rp 50.000)
4	D	Rate (per day)	2	Rp 300,000
5	E	Rate (per activity)	-	Normal (Rp 5.000.000, Rp 300.000)

*Equipment* juga memiliki beberapa macam relasi (hubungan) pengadaan dengan durasi dan biaya proyek. Yang pertama adalah sewa per hari (*based on time*). Yang kedua adalah skema beli (*based on price*). Ketidakpastian yang mungkin terjadi terdapat pada harga beli atau sewa *equipment* dan durasi sewa penggunaan *equipment*.



Gambar 4.6 Model Konseptual Relasi *Time-Cost-Equipment*

Pada kasus perusahaan X, biaya sewa untuk aktivitas C belum diketahui pasti sehingga *price rate* sewanya dinyatakan dalam bentuk distribusi normal. *Equipment* yang digunakan pada aktivitas E adalah impor dan pembeliannya menggunakan dollar, sehingga biaya pembelian dipengaruhi nilai kurs rupiah yang berubah-ubah sehingga *price rate* pembeliannya juga dinyatakan dalam bentuk distribusi normal. Terdapat tiga jenis *price rate* pada *equipment* yaitu biaya pembelian, biaya sewa, dan biaya operasional.

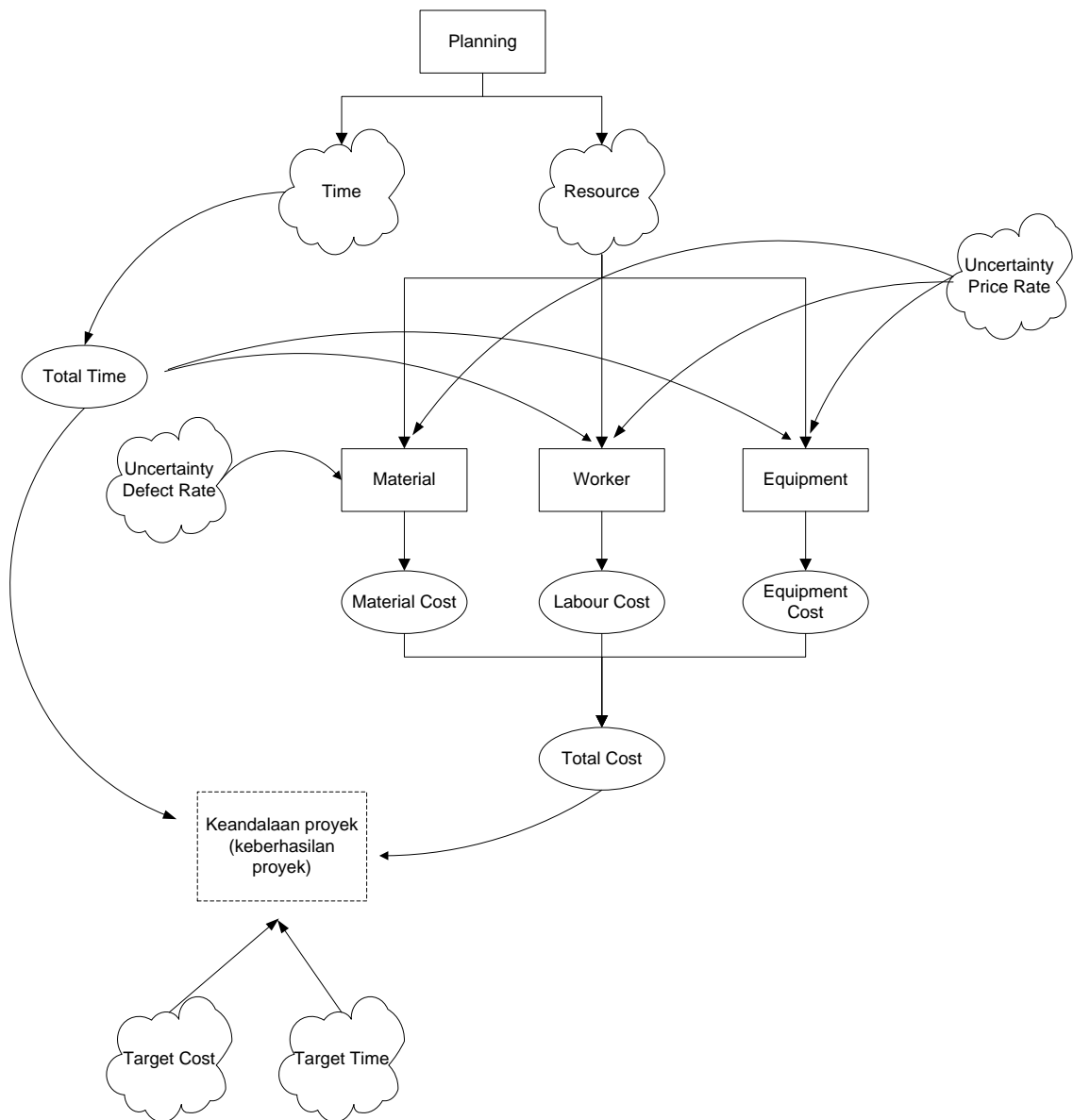


Tabel 4.4 *Equipment* Perusahaan X

Node	Act	Equipment		
		Description	Quantity	Price Rate
1	A	Owned Operation (per day)	1	Rp -
				Rp 250,000
2	B	Rent (per day) Operation (per day)	1	Rp 600,000
				Rp 25,000
3	C	Rent (per day) Operation (per day)	3	Normal (Rp 1.000.000, Rp 50.000)
				Rp 100,000
4	D	Rent (per day) Operation (per day)	2	Rp 500,000
				Rp 60,000
5	E	Owned (buy) Operation (per day)	1	Normal (Rp 3.000.000, Rp 112.000)
				Rp 15,000

Setelah diketahui ketidakpastian yang mungkin terjadi dalam proyek perusahaan X, maka diperlukan pengukuran estimasi keberhasilan proyek tersebut mencapai target waktu dan biaya proyek. Sehingga manajer proyek dapat menilai proyek tersebut berpotensi untuk dilanjutkan atau tidak.

Pengembangan model konseptual bertujuan untuk menjelaskan hubungan komponen-komponen yang membangun dengan tujuan mencari nilai keandalan proyek. Berikut merupakan gambar *influence diagram* yang menggambarkan hubungan antar variabel :



Gambar 4.7 *Influence Diagram*

Pada contoh perusahaan X, keseluruhan rancangan waktu, biaya, dan sumber daya dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Deskripsi Aktivitas dengan Estimasi Sumber Daya, Waktu, dan Biaya Proyek

Node	Act	Material				Worker			Equipment			Time (day)			Cost
		Description	Q	Defect Quantity	Price Rate	Description	Q	Price Rate	Description	Q	Price Rate	Op	Mod	Pe s	
1	A	Material I	100	Uniform (10,20)	Rp 20,000	Worker A (per day)	1	Rp 2,000,000	Owned Operation (per day)	1	Rp - Rp 250,000	12	15	16	$=(Qma \cdot Pma) + (Qwa \cdot Pwa \cdot Ta) + (Qea \cdot OCa \cdot Ta)$
2	B	Material II	50	-	Normal (Rp 10.000, Rp 400)	Worker B (per activity) Additional rate (per day)	-	Rp 5,000,000 Rp 100,000	Rent (per day) Operation (per day)	1	Rp 600,000 Rp 25,000	15	19	21	$=(Qmb \cdot Pmb) + (Qwb \cdot Pwa \cdot Tb) + (Qeb \cdot Peb \cdot Tb) + (Qeb \cdot OCb \cdot Tb)$
3	C	Material III	75	Uniform (5,10)	Rp 25,000	Rate (per activity)	-	Normal (Rp 9.000.000, Rp 50.000)	Rent (per day) Operation (per day)	3	Normal (Rp 1.000.000, Rp 50.000) Rp 100,000	6	9	11	$=(Qmc \cdot Pmc) + (Qwc \cdot Pwc \cdot Tc) + (Qec \cdot Pec \cdot Tc) + (Qec \cdot OCc \cdot Tc)$
4	D	Material IV	90	Uniform (5,10)	Rp 5,000	Rate (per day)	2	Rp 300,000	Rent (per day) Operation (per day)	2	Rp 500,000 Rp 60,000	25	35	37	$=(Qmd \cdot Pmd) + (Qwd \cdot Pwd \cdot Td) + (Qed \cdot Ped \cdot Td) + (Qed \cdot OCD \cdot Td)$
5	E	Material V	300	-	Normal (Rp 3.000, Rp 150)	Rate (per activity)	-	Normal (Rp 5.000.000, Rp 300.000)	Owned (buy) Operation (per day)	1	Normal (Rp 3.000.000, Rp 112.000) Rp 15,000	2	3	4	$=(Qme \cdot Pme) + (Qwe \cdot Pwe \cdot Te) + (Qee \cdot Pee) + (Qee \cdot OCe \cdot Te)$

Keterangan :

Qma	Jumlah Material Aktivitas A	Pma	Price Rate Material Aktivitas A	Qea	Jumlah Equipment Aktivitas A	Pea	Price Rate Equipment Aktivitas A
Qmb	Jumlah Material Aktivitas B	Pmb	Price Rate Material Aktivitas B	Qeb	Jumlah Equipment Aktivitas B	Peb	Price Rate Equipment Aktivitas B
Qmc	Jumlah Material Aktivitas C	Pmc	Price Rate Material Aktivitas C	Qec	Jumlah Equipment Aktivitas C	Pec	Price Rate Equipment Aktivitas C
Qmd	Jumlah Material Aktivitas D	Pmd	Price Rate Material Aktivitas D	Qed	Jumlah Equipment Aktivitas D	Ped	Price Rate Equipment Aktivitas D
Qme	Jumlah Material Aktivitas E	Pme	Price Rate Material Aktivitas E	Qee	Jumlah Equipment Aktivitas E	Pee	Price Rate Equipment Aktivitas E

Qwa	Jumlah Pekerja Aktfitas A	Pwa	Price Rate Pekerja Aktivitas A	Ta	Waktu Aktivitas A	OCa	Operation Cost Equipment Aktivitas A
Qwb	Jumlah Pekerja Aktfitas B	Pwb	Price Rate Pekerja Aktivitas B	Tb	Waktu Aktivitas B	OCb	Operation Cost Equipment Aktivitas B
Qwc	Jumlah Pekerja Aktfitas C	Pwc	Price Rate Pekerja Aktivitas C	Tc	Waktu Aktivitas C	OCc	Operation Cost Equipment Aktivitas C
Qwd	Jumlah Pekerja Aktfitas D	Pwd	Price Rate Pekerja Aktivitas D	Td	Waktu Aktivitas D	OCd	Operation Cost Equipment Aktivitas D
Qwe	Jumlah Pekerja Aktfitas E	Pwe	Price Rate Pekerja Aktivitas E	Te	Waktu Aktivitas E	OCe	Operation Cost Equipment Aktivitas E

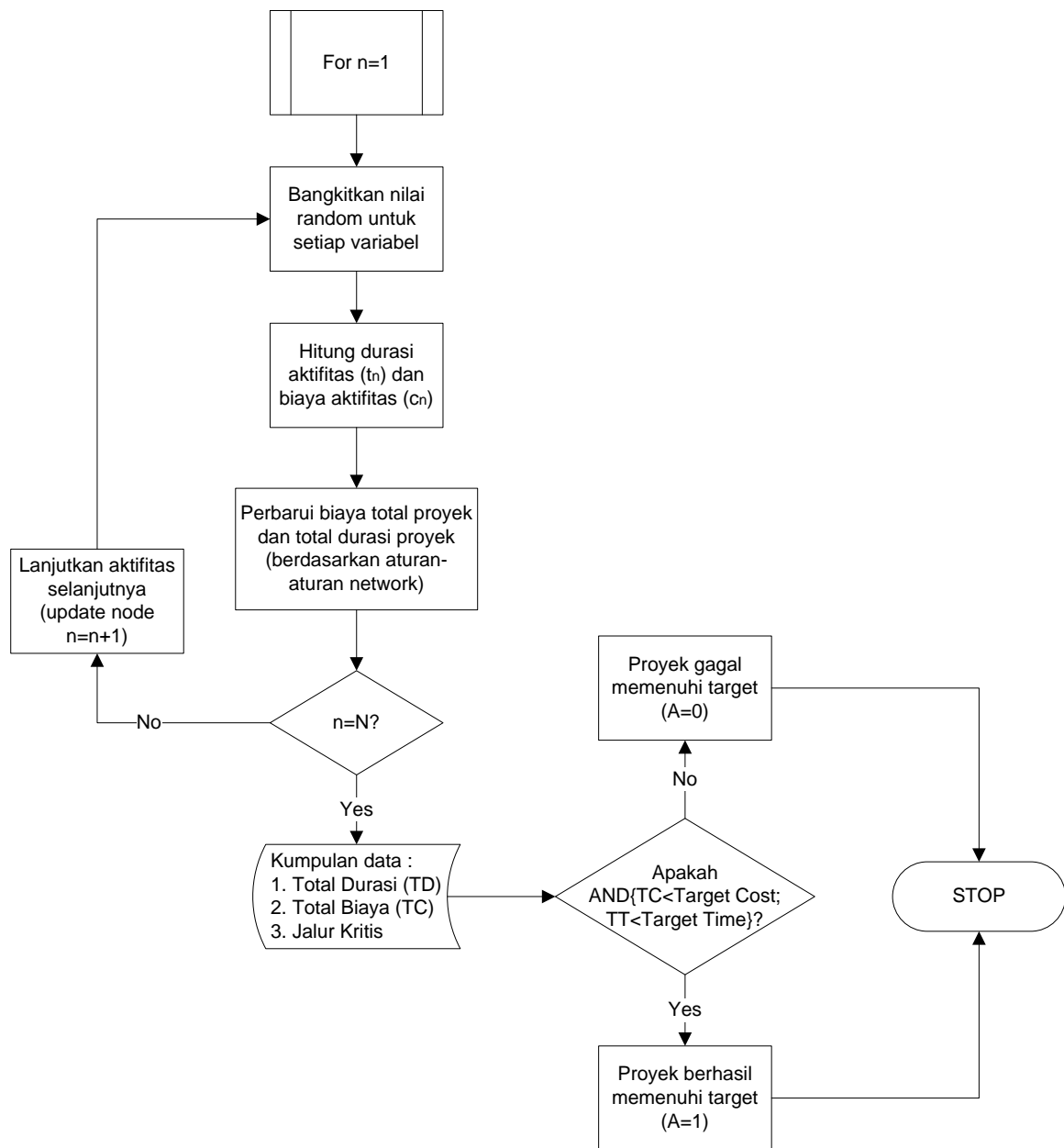
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

#### 4.2.2 Modeling Konsep Simulasi

Untuk menghitung probabilitas keberhasilan proyek mencapai target digunakan simulasi monte calro. Langkah-langkah Simulasi Monte Carlo dijelaskan dalam gambar 4.7. Setiap aktivitas proyek disimbolkan dengan 1 hingga n. Untuk proses pertama adalah membangkitkan nilai acak pada setiap variabel. Langkah selanjutnya adalah menghitung durasi penyelesaian aktivitas dan biaya aktivitas. Kemudian menghitung dan memperbaharui total durasi proyek (rumus 2) dan total biaya proyek (rumus 1). Setelah selesai menghitung sebuah aktivitas, lalu *looping* kepada aktivitas berikutnya hingga seluruh aktivitas dievaluasi. Apabila  $n=N$ , maka beberapa data yang akan terkumpul yaitu :

1. Total durasi proyek dengan rumus (2)
2. Total biaya proyek dengan rumus (1)
3. Jalur kritis

Langkah selanjutnya adalah menghitung estimasi yang dievaluasi memenuhi seluruh target atau tidak. Apabila memenuhi seluruh target maka diberi nilai  $A=1$ . Sedangkan apabila ada terdapat minimal satu target tidak terpenuhi maka diberi nilai  $A=0$ .



Gambar 4.8 Flowchart Simulasi Monte Carlo

Rumus yang digunakan untuk menghitung total biaya, total durasi proyek, dan probabilitas keberhasilan proyek memenuhi target adalah sebagai berikut:

$$TC = \begin{cases} \sum_{n=1}^n (c_n t_n + cm_n + acw_n + ceq_n) ; \text{jika } TD \leq D^0 \\ \sum_{n=1}^n (c_n t_n + cm_n + cw_n + ceq_n) + P ; \text{jika } TD > D^0 \end{cases} \dots\dots(1)$$

$$TD = \max\{t_n + TD_{\text{semua proses sebelumnya}}\} \dots\dots\dots(2)$$

$$A = \begin{cases} 1; & \text{jika } TC < C^0 \text{ dan } TD < D^0 \\ 0; & \text{jika yang lainnya} \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

$$Pr = \frac{\sum A}{X} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

N	: jumlah seluruh aktivitas (nodes)
n	: aktivitas ke-n
TC	: total cost
TT	: total time
Pr	: keandalan probabilitas keberhasilan proyek mencapai target
$c_n$	: cost pada aktivitas ke-n
$t_n$	: time pada aktivitas ke-n
$cm_n$	: material cost pada aktivitas ke-n
$cw_n$	: worker cost pada aktivitas ke-n
$ceq_n$	: equipment cost pada aktivitas ke-n
P	: penalti yang didapat akibat keterlambatan proyek
$D^0$	: target durasi
$C^0$	: target cost
A	: nilai biner, proyek berhasil (1) atau proyek gagal (0)
X	: jumlah replikasi

Untuk menghitung nilai dari probabilitas keberhasilan mencapai target, maka dapat menggunakan algoritma sebagai berikut :

1. Tetapkan jumlah replikasi (X)
2. Atur nomor replikasi (x)=1
3. Jalankan algoritma simulasi, sehingga menghasilkan nilai Ax
4. Atur nomor replikasi (x)=x+1
5. Jika  $x < X$ , kembali ke langkah 2. Selain itu berhenti.

Simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk menghitung sejumlah n kali percobaan. Untuk menentukan jumlah percobaan yang dilakukan dapat menggunakan rumus (5) (Walpole & Myres, 1995).

$$n = \frac{(t_{\alpha/2, v=n-1})^2 * (S_{\bar{x}})^2}{\alpha^2} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

- n : jumlah replikasi (percobaan)
- $t_{\alpha/2, v=n-1}$  : nilai dari distribusi t, dengan derajat kebebasan  $v=n-1$ , sehingga luas daerah (dalam grafik) disebelah kanannya seluas  $\alpha/2$
- $S_{\bar{x}}$  : standar deviasi
- $\alpha$  : perbedaan antara rata-rata yang sebenarnya dengan rata-rata yang ditaksir yang dapat ditoleransikan

#### 4.2.3 Estimasi Probabilitas Keberhasilan Proyek

Setelah mendapatkan probabilitas keberhasilan proyek mencapai target maka akan dihitung interval kepercayaannya. Interval kepercayaan dapat dihitung dengan menggunakan rumus (6):

$$\bar{X} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{Spr}{\sqrt{N}} \leq \mu_{pr} \leq \bar{X} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{Spr}{\sqrt{N}} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

- $t_{\alpha/2, n-1}$  : nilai dari distribusi t, dengan derajat kebebasan  $v=n-1$ , sehingga luas daerah (dalam grafik) disebelah kanannya seluas  $\alpha/2$
- $S_{pr}$  : standar deviasi nilai keandalan proyek
- $\mu_{pr}$  : rata-rata keandalan proyek
- $\bar{X}$  : rata-rata nilai probabilitas keandalan proyek
- N : jumlah *sample* keandalan proyek



## **BAB 5**

### **PERCOBAAN NUMERIK**

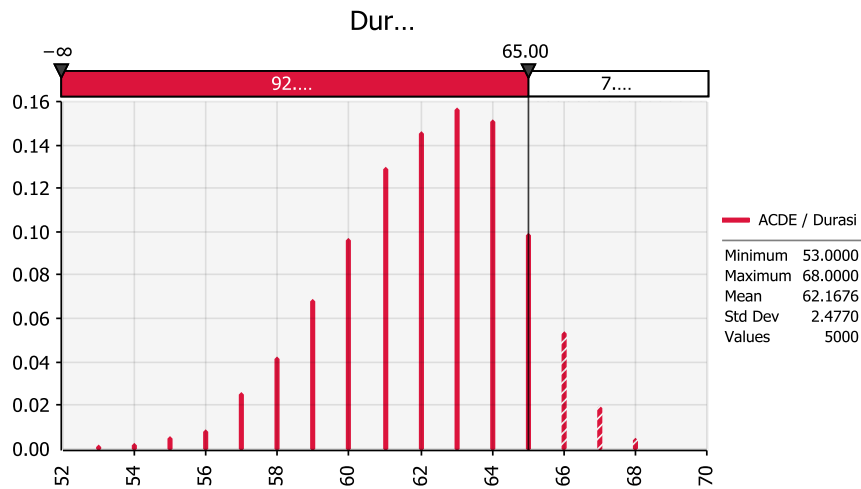
Pada bab ini akan dilakukan implementasi pengembangan model yang telah dilakukan pada bab sebelumnya pada proyek nyata berserta interpretasi dan analisis.

#### **5.1 Percobaan Numerik I**

Kasus pertama adalah penyempurnaan dari contoh dari bab sebelumnya. Perusahaan X menentukan target waktu penyelesaian proyek adalah 65 hari. Dan target biaya penyelesaian proyek adalah Rp 175.000.000. Hasil yang didapat dari perencanaan perusahaan X secara deterministik waktu penyelesaian proyek adalah 63 hari dan total biaya yang diperlukan adalah Rp 173.220.000. Namun karena adanya ketidakpastian pada beberapa variabel, maka perlu dihitung kemampuan keberhasilan proyek mencapai target. Untuk menghitung probabilitas keberhasilan, maka harus menghitung total waktu dan biaya proyek yang mungkin terjadi. Untuk mengakomodir faktor ketidakpastian maka dilakukan simulasi monte carlo dengan bantuan *software @risk* Palisade.

##### **5.1.1 Total Waktu Proyek**

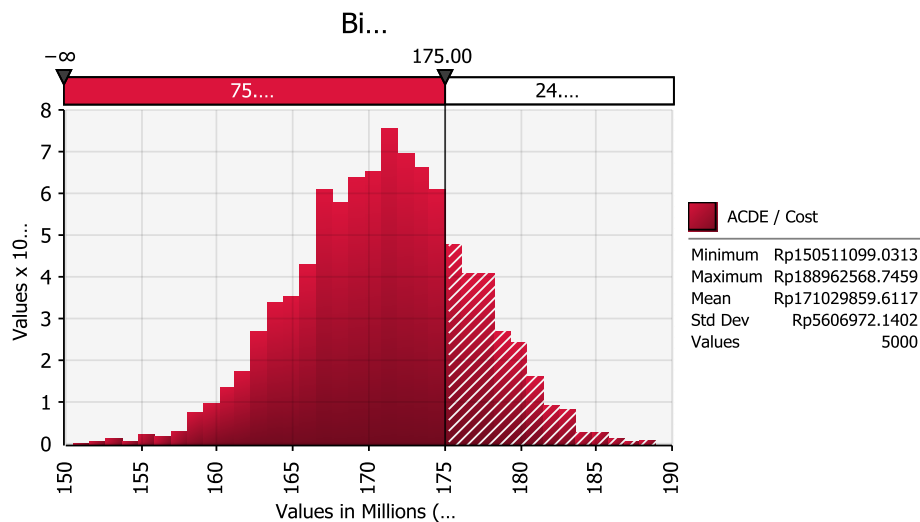
Hasil simulasi monte carlo pada waktu penyelesaian proyek memiliki rata-rata 63 hari dengan standar deviasi 2,47 hari. Probabilitas waktu proyek selesai kurang dari sama dengan 65 hari adalah 92,5%. Gambar 5.1 merupakan hasil simulasi total waktu proyek.



Gambar 5.1 Hasil Simulasi Total Waktu Proyek

### 5.1.2 Total Biaya Proyek

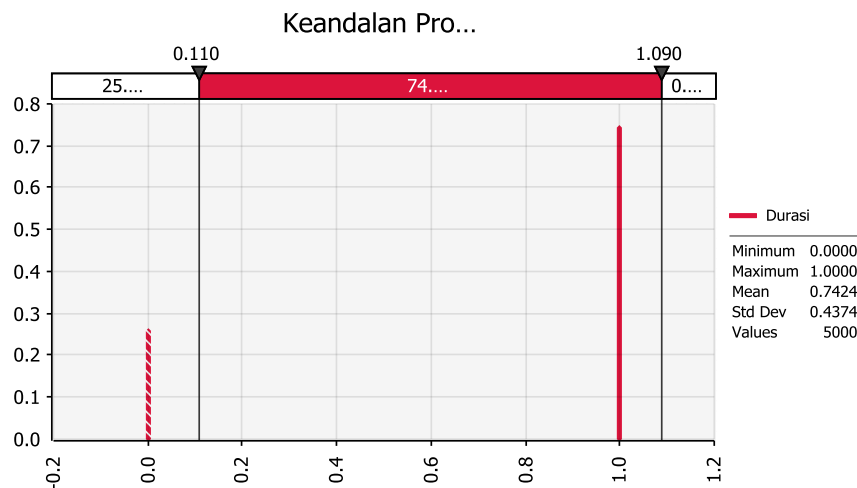
Hasil simulasi monte carlo pada biaya proyek memiliki rata-rata Rp 171.029.859 dengan standar deviasi Rp 5.606.972. Probabilitas biaya proyek kurang dari Rp 175.000.000 adalah 75,9%. Gambar 5.2 merupakan hasil simulasi total biaya proyek.



Gambar 5.2 Hasil Simulasi Total Biaya Proyek

### 5.1.3 Probabilitas Keberhasilan Proyek Mencapai Target

Untuk mendapatkan nilai keandalan proyek, maka diperlukan nilai dari total waktu dan biaya proyek. Contohnya dari perusahaan X, eksperimen pertama didapat nilai waktu proyek 61 hari dan biaya proyek Rp175.219.853. Jadi pada eksperimen pertama target waktu berhasil dipenuhi namun target biaya tidak berhasil dipenuhi, sehingga indeks pada eksperimen pertama adalah 0. Kemudian dilakukan 5000 kali eksperimen. Data 5000 eksperimen pertama terdapat pada lampiran 1. Dari 5000 eksperimen ini dihitung rata-rata didapat indeks 1 menggunakan rumus (4). Nilai rata-rata tersebut adalah keandalan dari proyek, pada replikasi pertama didapatkan nilai keandalan proyek sebesar 74,2%. Gambar 5.3 merupakan hasil simulasi keandalan proyek.



Gambar 5.3 Hasil Simulasi Keandalan Proyek

Setelah mendapatkan nilai keandalan pada replikasi pertama, maka selanjutnya adalah menghitung interval kepercayaan keandalan proyek dengan rumus (6). Pertama dilakukan perhitungan jumlah replikasi yang diperlukan. Jumlah replikasi awal yang digunakan adalah 10 kali replikasi, tabel 5.1 adalah rekap keandalan proyek untuk 10 kali replikasi.

Tabel 5.1 Keandalan Proyek Percobaan Numerik 1

n	Keandalan Proyek
1	74.2%
2	73.1%
3	74.1%
4	73.4%
5	73.3%
6	74.2%
7	72.6%
8	73.1%
9	73.3%
10	73.3%
Rata-rata	73.5%
STD	0.005358275

Lalu dilakukan uji kecukupan data, untuk mendapatkan jumlah eksperimen yang diperlukan dengan menggunakan rumus (5). Nilai  $\alpha$  yang digunakan adalah 0.5%, n awal adalah 10.

$$n' = \frac{(2,262)^2 * (0,00535)^2}{0,005^2} = 5,85 \approx 6$$

Karena  $n' > n$ , maka data dikatakan cukup. Kemudian dapat dihitung interval kepercayaan dari keandalan proyek.

$$0,735 - 2,262 \frac{0,0053}{\sqrt{10}} \leq \mu_{pr} \leq 0,735 + 2,262 \frac{0,0053}{\sqrt{10}}$$

$$0,731 \leq \mu_{pr} \leq 0,738$$

Jadi kesimpulannya adalah dengan tingkat  $\alpha$  0,5% dapat dikatakan bahwa interval kepercayaan keandalan proyek berada diantara 73,1% dan 73,8%. Setelah mengetahui keandalan proyek, maka manajer proyek dapat mempertimbangkan kelayakannya. Apabila manajer proyek berpendapat bahwa peluang tersebut cukup rendah untuk memenuhi target waktu dan biaya, maka manajer proyek dapat

mengambil keputusan membatalkan proyek atau menlanjutkannya dengan memperbaiki atau merancang ulang perencanaan.

## **5.2 Percobaan Numerik II**

Kasus kedua yang akan digunakan merupakan contoh yang lebih rumit yaitu pembangunan sebuah gedung. Target penyelesaian proyek ini adalah 560 hari dan Rp 6.000.000.000.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

Tabel 5.2 Rancangan Keperluan Proyek Pembangunan Gedung

WBS	Act	Pred	Material				Worker			Equipment			Time (day)			Cost
			Description	Q	Defect Quantity	Price Rate	Description	Q	Price Rate	Description	Q	Price Rate	Op	Mod	Pes	
1      Persiapan proyek																
1.1	Survey Lokasi	-	Bahan dan Alat Bantu	4	-	Rp 1.000.000/unit	Manajer Proyek Site Engineering Manajer Site Operation Manajer Site Administration Manajer	1 1 1 1	Rp 650.000/hari Rp 500.000/hari Rp 500.000/hari Rp 500.000/hari	Peralatan Survey	1	Normal (Rp 5.000.000, Rp 50.000)/unit	15	20	22	Rp      54,189,496
1.2	Shop Drawing	1.1 (SS)	Bahan dan Alat Bantu	8	-	Rp 1.000.000/unit	Manajer Proyek Site Engineering Manajer Site Administration Manajer Perencanaan Material Perencanaan Biaya & Adm Quality Surveyor Logistik dan Peralatan Keuangan dan Akuntan	1 1 1 1 1 1 1 1	Rp 650.000/hari Rp 500.000/hari Rp 500.000/hari Rp 250.000/hari Rp 250.000/hari Rp 250.000/hari Rp 250.000/hari Rp 250.000/hari	Peralatan Survey	1	Normal (Rp 5.000.000, Rp 50.000)/unit	40	50	54	Rp      140,639,496
2      Pekerjaan Struktur      -																
2.1	Pekerjaan Tanah	1.2	Besi dan Beton  Baja	500  800	-  Uniform (0,120)	Normal (Rp 80.000, Rp 5.000)/unit Rp 15.000/unit	Keamanan (Security) Mandor Pekerja Struktur Tanah *tambahan biaya bila aktivitas lebih dari 200 hari, Rp 1.000.000/hari	1 1 -	Rp 100.000/hari Rp 75.000/hari Rp 800.000.000/aktivitas	Tower Crane *Operation Cost Gantry Crane *Operation Cost Excavator *Operation Cost	1  1  1	Rp 2.500.000/hari Rp 250.000/hari Rp 350.000/hari Rp 50.000/hari Rp 1.500.000/hari Rp 75.000/hari	180	200	200	Rp      1,802,480,946
2.2	Pekerjaan Struktur Bawah	2.1	Batu Kali dan Bata  Semen	450  200	-  Uniform (0,70)	Normal (Rp 10.000, Rp 5.000)/unit Rp 60.000/unit	Keamanan (Security) Mandor Pekerja Struktur Bawah	1 1 -	Rp 100.000/hari Rp 75.000/hari Rp 800.000.000/aktivitas	Tower Crane *Operation Cost Gantry Crane *Operation Cost Excavator *Operation Cost	1  1  1	Rp 2.500.000/hari Rp 250.000/hari Rp 350.000/hari Rp 50.000/hari Rp 1.500.000/hari Rp 75.000/hari	135	150	159	Rp      1,592,454,804
2.3	Pekerjaan Struktur Atas	2.2	Batu Kali dan Bata  Semen	500  150	-  Uniform (100,120)	Normal (Rp 10.000, Rp 5.000)/unit Rp 60.000/unit	Keamanan (Security) Mandor Pekerja Struktur Atas	1 1 -	Rp 100.000/hari Rp 75.000/hari Rp 800.000.000/aktivitas	Tower Crane *Operation Cost Gantry Crane *Operation Cost Excavator *Operation Cost Lift Barang *Operation Cost	1  1  1  1	Rp 2.500.000/hari Rp 250.000/hari Rp 350.000/hari Rp 50.000/hari Rp 1.500.000/hari Rp 75.000/hari Rp 80.000.000/unit Rp 100.000/hari	110	120	130	Rp      1,551,821,017

Tabel 5.3 Rancangan Keperluan Proyek Pembangunan Gedung (Lanjutan)

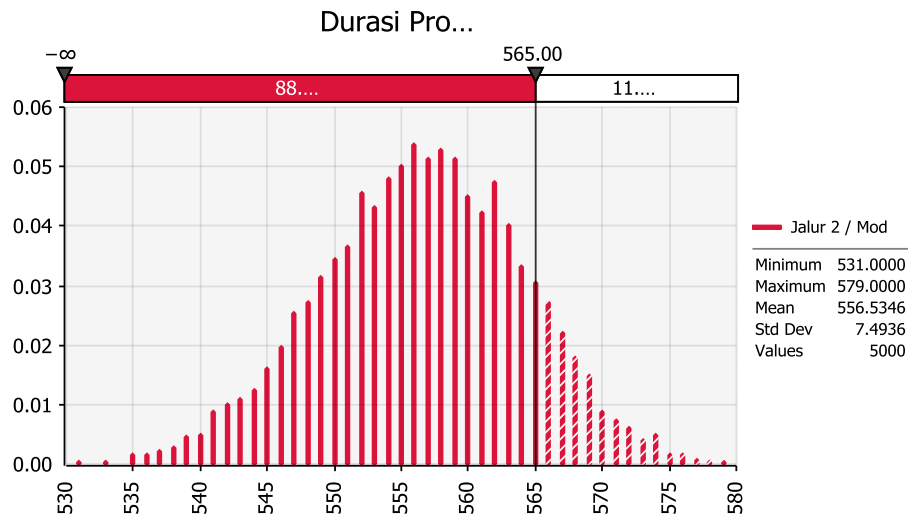
WBS	Act	Pred	Material				Worker			Equipment			Time (day)			Cost
			Description	Q	Defect Quantity	Price Rate	Description	Q	Price Rate	Description	Q	Price Rate	Op	Mod	Pes	
3 Pekerjaan Arsitektur																
3.1	Pembuatan Lantai	2.2	Semen	200	Uniform (40,70)	Rp 60.000/unit	Keamanan (Security)	1	Rp 100.000/hari	Concrete Pump	1	Normal (Rp 3.500.000, Rp 10.000)/unit	45	50	61	Rp 165,874,448
			Keramik	100	Uniform (0,20)	Rp 40.000/unit	Mandor	1	Rp 75.000/hari	*Operation Cost		Rp 200.000/hari				
							Pekerja Bangunan	5	Rp 50.000/hari	Concrete Mixer	1	Rp 8.500.000/unit				
										*Operation Cost		Rp 250.000/hari				
										Dump Truck	1	Rp 1.500.000/hari				
										*Operation Cost		Rp 150.000/hari				
3.2	Pembuatan Dinding	3.1 (SS)	Semen	400	-	Rp 60.000/unit	Keamanan (Security)	1	Rp 100.000/hari	Concrete Pump	1	-	75	80	89	Rp 247,075,000
			Keramik	200	Uniform (0,50)	Rp 40.000/unit	Mandor	1	Rp 75.000/hari	*Operation Cost		Rp 200.000/hari				
							Pekerja Bangunan	5	Rp 50.000/hari	Concrete Mixer	1	-				
										*Operation Cost		Rp 250.000/hari				
										Dump Truck	1	Rp 1.500.000/hari				
										*Operation Cost		Rp 150.000/hari				
4	Pembuatan Taman (boulevard)	2.3	Batu Kali dan Bata	100	Triang (20,50,60)	Normal (Rp 80.000, Rp 5.000)/unit	Keamanan (Security)	1	Rp 100.000/hari	Concrete Pump	1	-	35	40	44	Rp 120,189,469
							Mandor	1	Rp 75.000/hari	*Operation Cost		Rp 200.000/hari				
			Semen	50	-	Rp 60.000/unit	Pekerja Bangunan	5	Rp 50.000/hari	Concrete Mixer	1	-				
			Keramik	70	Uniform (10,20)	Rp 40.000/unit				*Operation Cost		Rp 250.000/hari				
										Dump Truck	1	Rp 1.500.000/hari				
										*Operation Cost		Rp 150.000/hari				
4.1	Pembuatan Kolam Renag	4.1 (SS)	Semen	75	Uniform (15,20)	Rp 60.000/unit	Keamanan (Security)	1	Rp 100.000/hari	Concrete Pump	1	-	30	40	45	Rp 112,465,000
			Keramik	100	-	Rp 40.000/unit	Mandor	1	Rp 75.000/hari	*Operation Cost		Rp 200.000/hari				
							Pekerja Bangunan	5	Rp 50.000/hari	Concrete Mixer	1	-				
										*Operation Cost		Rp 250.000/hari				
										Dump Truck	1	Rp 1.500.000/hari				
										*Operation Cost		Rp 150.000/hari				
4.2										Bucket	1	Rp 100.000/hari				
										*Operation Cost		Rp 10.000/hari				

Jalur 1	559	Rp 5,823,349,809
Jalur 2	559	



### 5.2.1 Total Waktu Proyek

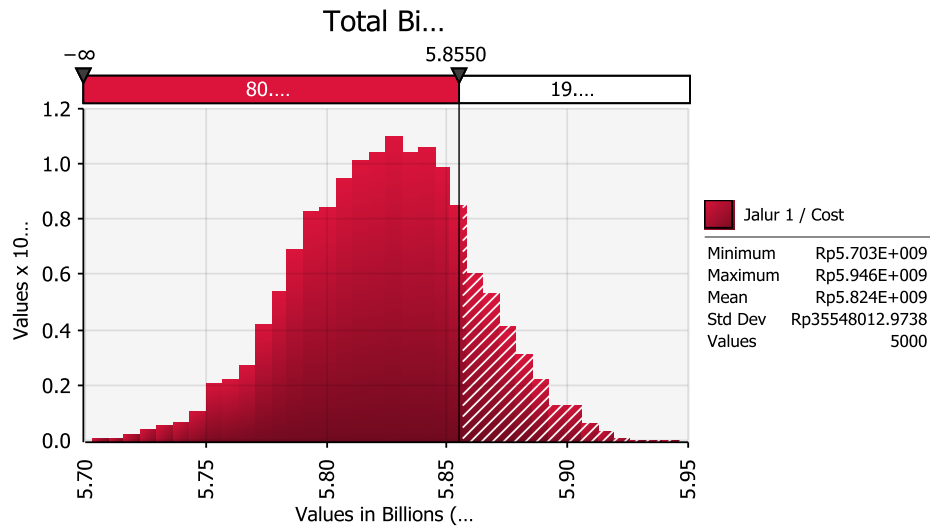
Hasil simulasi monte carlo pada waktu penyelesaian proyek memiliki rata-rata 556 hari dengan standar deviasi 7,49 hari. Probabilitas waktu proyek selesai kurang dari sama dengan 560 hari adalah 88.3%. Gambar 5.4 merupakan hasil simulasi total waktu proyek.



Gambar 5.4 Hasil Simulasi Total Waktu Proyek

### 5.2.2 Total Biaya Proyek

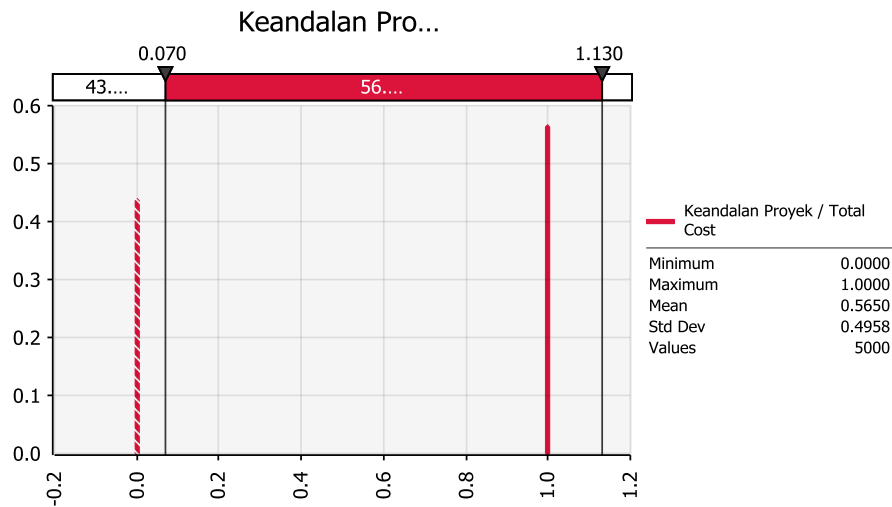
Hasil simulasi monte carlo pada biaya proyek memiliki rata-rata Rp 5.825.000.000 dengan standar deviasi Rp 335.480.012. Probabilitas biaya proyek kurang dari Rp 6.000.000.000 adalah 80.7%. Gambar 5.5 merupakan hasil simulasi total biaya proyek.



Gambar 5.5 Hasil Simulasi Total Biaya Proyek

### 5.2.3 Probabilitas Keberhasilan Proyek Mencapai Target

Untuk mendapatkan nilai keandalan proyek, maka diperlukan nilai dari total waktu dan biaya proyek. Pada contoh kedua ini eksperimen pertama didapat nilai waktu proyek 560 hari dan biaya proyek Rp5.817.079.251. Jadi pada eksperimen pertama target waktu dan target biaya berhasil dipenuhi, sehingga indeks pada eksperimen pertama adalah 1. Kemudian dilakukan 5000 kali eksperimen. Data 5000 eksperimen contoh dua terdapat pada lampiran 2. Dari 5000 eksperimen ini dihitung rata-rata didapat indeks 1 menggunakan rumus (4). Nilai rata-rata tersebut adalah keandalan dari proyek, pada replikasi pertama didapatkan nilai keandalan proyek sebesar 56,5%. Gambar 5.3 merupakan hasil simulasi keandalan proyek.



Gambar 5.6 Hasil Simulasi Keandalan Proyek

Setelah mendapatkan probabilitas keberhasilan proyek mencapai target maka akan dihitung interval kepercayaannya dengan rumus (6). Pertama dilakukan 10 kali eksperimen, tabel 5.5 adalah rekap keandalan proyek untuk 10 kali eksperimen.

Tabel 5.4 Keandalan Proyek Percobaan Numerik 2

n	Keandalan Proyek
1	54.8%
2	56.5%
3	55.0%
4	55.9%
5	54.3%
6	55.5%
7	54.9%
8	55.3%
9	54.2%
10	55.8%
Mean	55.2%
SD	0.006707376

Lalu dilakukan uji kecukupan data, untuk mendapatkan jumlah eksperimen yang diperlukan dengan menggunakan rumus (5). Nilai  $\alpha$  yang digunakan adalah 0.5%, n awal adalah 10.

$$n' = \frac{(2,262)^2 * (0,0067)^2}{0,005^2} = 9,18 \approx 10$$

Karena  $n' > n$ , maka data dikatakan cukup. Kemudian dapat dihitung interval kepercayaan dari keandalan proyek.

$$0,552 - 2,262 \frac{0,0067}{\sqrt{10}} \leq \mu_{pr} \leq 0,552 + 2,262 \frac{0,0067}{\sqrt{10}}$$

$$0,547 \leq \mu_{pr} \leq 0,556$$

Maka kesimpulannya adalah dengan  $\alpha$  0,5% dapat dikatakan bahwa probabilitas proyek untuk mencapai target biaya dan waktu berada diantara 54,7% dan 55,6%. Berdasarkan hasil kedua percobaan numerik yang telah dilakukan, model dapat digunakan dengan baik dan dapat menghasilkan nilai keandalan proyek.

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini akan menjelaskan tentang kesimpulan penelitian tugas akhir dan saran yang diusulkan.

#### **6.1 Kesimpulan**

Penelitian ini adalah pengembangan model Taylor dan Davis (1978). Taylor dan Davis meneliti kombinasi antara parameter biaya dan waktu yang bersifat stokastik. Simulasi GERT digunakan untuk mendapatkan nilai *expected time* dan *expected cost* pada proyek tersebut.

Sumber daya adalah komponen penyusun waktu dan biaya proyek. Sumber daya memiliki ketidakpastian yang membuat waktu dan biaya proyek juga menjadi tidak pasti. Faktor sumber daya ini yang masih belum dipertimbangkan oleh Taylor dan Davis dalam modelnya. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model hubungan (relasi) waktu, biaya, dan sumber daya proyek dibawah ketidakpastian untuk mengukur keberhasilan proyek mencapai target waktu dan biaya.

Ketidakpastian pada sumber daya proyek terbatas pada *price rate* dan *defect quantity* (yang terdapat pada material). Ketidakpastian pada waktu proyek didekatkan langsung dari aktivitas dan jumlah sumber daya dalam bentuk pesimis, moderat, dan optimis. Ketidakpastian pada biaya proyek adalah akibat dari ketidakpastian yang terdapat pada waktu dan sumber daya proyek.

Model tersebut diuji pada dua percobaan numerik. Dalam percobaan numerik ini, model dapat bekerja dengan baik dan dapat menunjukkan probabilitas keberhasilan terhadap target waktu dan biaya.

#### **6.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah melakukan aplikasi model kasus di lapangan dan pengembangan model yang ikut mempertimbangkan faktor kualitas proyek.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

Lampiran 1 (Replikasi dari percobaan numerik I)

Replikasi	Durasi (hari)	Biaya	Indeks
1	60	Rp 166,083,198	1
2	64	Rp 174,142,117	1
3	60	Rp 165,579,032	1
4	62	Rp 168,736,134	1
5	59	Rp 163,426,207	1
6	61	Rp 167,061,785	1
7	61	Rp 165,993,136	1
8	63	Rp 169,664,828	1
9	59	Rp 166,804,259	1
10	60	Rp 165,923,873	1
11	58	Rp 167,110,863	1
12	64	Rp 171,615,114	1
13	64	Rp 172,844,071	1
14	63	Rp 174,974,358	1
15	56	Rp 159,690,161	1
16	63	Rp 168,053,176	1
17	65	Rp 176,448,889	0
18	60	Rp 166,458,891	1
19	62	Rp 173,912,493	1
20	61	Rp 170,825,659	1
.	.	.	.
4985	65	Rp 175,553,345	0
4986	64	Rp 175,706,207	0
4987	61	Rp 169,162,428	1
4988	61	Rp 173,215,227	1
4989	61	Rp 168,913,762	1
4990	67	Rp 180,783,262	0
4991	65	Rp 175,745,417	0
4992	62	Rp 170,633,079	1
4993	61	Rp 169,467,020	1
4994	63	Rp 169,134,347	1
4995	60	Rp 167,889,768	1
4996	57	Rp 156,461,503	1
4997	65	Rp 179,243,434	0
4998	62	Rp 169,552,318	1
4999	58	Rp 163,786,178	1
5000	58	Rp 163,759,753	1

Lampiran 2 (Replikasi dari percobaan numerik II)

Replikasi	Durasi (hari)	Biaya		Indeks
1	565	Rp	5,841,236,807	0
2	549	Rp	5,771,366,913	1
3	561	Rp	5,850,851,278	0
4	555	Rp	5,800,939,526	1
5	560	Rp	5,818,860,042	0
6	563	Rp	5,842,716,260	0
7	553	Rp	5,786,575,527	1
8	552	Rp	5,791,890,130	1
9	559	Rp	5,830,555,835	1
10	566	Rp	5,864,821,992	0
11	569	Rp	5,873,377,476	0
12	552	Rp	5,788,839,311	1
13	540	Rp	5,743,350,122	1
14	567	Rp	5,841,684,104	0
15	558	Rp	5,843,394,079	1
16	573	Rp	5,869,364,297	0
17	563	Rp	5,818,551,522	0
18	562	Rp	5,838,758,153	0
19	566	Rp	5,888,938,482	0
20	563	Rp	5,839,263,015	0
.				
.				
4983	564	Rp	5,840,032,628	0
4984	548	Rp	5,783,725,895	1
4985	556	Rp	5,810,083,897	1
4986	555	Rp	5,812,973,983	1
4987	561	Rp	5,850,320,437	0
4988	549	Rp	5,794,451,214	1
4989	546	Rp	5,763,029,363	1
4990	544	Rp	5,746,925,507	1
4991	562	Rp	5,829,024,253	0
4992	550	Rp	5,792,730,642	1
4993	546	Rp	5,781,131,903	1
4994	563	Rp	5,834,286,217	0
4995	543	Rp	5,746,988,957	1
4996	570	Rp	5,899,761,382	0
4997	563	Rp	5,849,109,291	0
4998	555	Rp	5,825,295,526	1
4999	572	Rp	5,893,840,754	0
5000	558	Rp	5,831,685,969	1



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Lola Cahyana Hasugian, lahir di Jakarta, 20 Juni 1993, anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal, mulai dari TK dan SD Tunas Cemerlang, SMP Negeri 109 Jakarta, SMA Negeri 71 Jakarta,

hingga S1 Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Di Jurusan Teknik Industri, penulis aktif sebagai menjadi anggota UKM Paduan Suara Mahasiswa ITS. Selain itu, penulis juga aktif sebagai Administrator Laboratorium Komputasi dan Optimasi Industri mulai Januari 2014 hingga Juni 2015. Selama aktif, jabatan yang pernah dipegang adalah Kepala Departemen Research and Development dan Sekretaris. Penulis juga tercatat sebagai asisten beberapa mata kuliah, seperti Statistik Industri, Penelitian Operasional, Matematika Optimasi, SSI, dan PI 1.

Penulis juga aktif mengikuti beberapa kegiatan yang diikuti oleh PSMITS, yaitu Konser Impression PSMITS, Lomba FPSITB 2015, dan Lomba Seghizzi 2015. Selain itu juga menjadi peserta pada beberapa pelatihan, seperti SISTEM 2011, LKMM Pra-TD, dan LKMM TD 2013.

Hobi yang dimiliki penulis adalah bernyanyi, bersenang-senang bersama teman-teman, wisata kuliner, jalan-jalan, dan melakukan hal-hal menarik lainnya. Penulis tertarik dalam melakukan penelitian di bidang optimasi dan simulasi. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* lolacahyana@gmail.com.